This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

#9:

ENG
TA427
M45
1900
TIMC
SHE NRC
[illegible]

4
T

#9:

ENG
TA427
M45
1900
TIM-
SHEAR
STEEL

Landesausstellungs-Ausgabe 1896.

Mitteilungen

der Materialprüfungs-Anstalt

am schweiz. Polytechnikum in Zürich.

I. Heft.

Methoden und Resultate

der Prüfung

künstlicher und natürlicher Bausteine.

Zusammengestellt von

Prof. **L. Tetmajer**

Direktor der Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum, etc.

Dritte vervollständigte Auflage.

Selbst-Verlag der Anstalt.

ZÜRICH

Druck von F. Lohbauer, Rämistrasse 12

1900.

DEN SCHWEIZERISCHEN ZIEGLERN

UND STEINBRUCHBESITZERN

GEWIDMET

VOM

VERFASSER.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Als Ausfluss der vertragsgemässen Verpflichtungen der Materialprüfungs-Anstalt gegenüber dem Central-Comité der schweiz. Landesausstellung zu Genf und den diese Veranstaltung subventionierenden Industriellen ist die vorliegende Ausgabe des ersten Heftes ihrer offiziellen Mitteilungen hervorgegangen. Seit mehreren Jahren war die erste Auflage desselben vergriffen; wir zögerten indessen mit Herausgabe einer neuen, weil die Hoffnung bestand, dass anlässlich der Genfer Ausstellung die künstlichen und natürlichen Bausteine des Landes unter den erweiterten Gesichtspunkten des Materialprüfungs-Verfahrens der neuesten Zeit einer wiederholten Untersuchung ihrer Wertverhältnisse unterzogen würden und die hierbei gewonnenen Resultate das Zahlenmaterial vom Jahre 1884 ersetzen könnten. Die Beteiligung der schweizer. Steinbruchbesitzer an der Gruppe «*Baumaterialien*» der Landesausstellung fiel unbefriedigend aus; Dank den vielfachen Bemühungen des Herrn Oberst *L. Perrier* von Neuenburg war jene der Erzeuger der künstlichen Bausteine reger ausgefallen, obschon auch aus diesen Kreisen eine grössere, von allem eine, der Bedeutung der schweizerischen Ziegelindustrie entsprechendere Beteiligung an dem vaterländischen Werke erwartet wurde. Unter diesen Umständen und Verhältnissen konnten die Ergebnisse der Untersuchungen der künstlichen und natürlichen Bausteine der Ausstellungsperiode 1896 die Resultate unserer älteren Arbeiten auf diesem Gebiete lediglich nur ergänzen und blieb somit nicht viel anderes übrig, als in der vorliegenden Auflage des ersten

Heftes unserer Mitteilungen die Ergebnisse sämtlicher Arbeiten zusammenzustellen, welche in der Bausteinbranche in der schweizer. Materialprüfungs-Anstalt bis zur Stunde ausgeführt wurden. Hierbei war es mit Rücksicht auf die mannigfachen Änderungen der Methoden der Prüfung der Bausteine unerlässlich, das Datum der Prüfungsvornahme den Zusammenstellungen beizufügen, wodurch Methoden und Resultate der Untersuchungen in eine, jedermann verständliche Beziehung und Übereinstimmung gebracht erscheinen.

Bei diesem Anlasse wird uns die angenehme Pflicht, den Professoren des schweiz. Polytechnikums, den Herren Dr. *Grubenmann,* Dr. *Heim* und *G. Lasius,* für die schätzbaren Beiträge zu vorliegendem Hefte, ferner meinen langjährigen, pflichttreuen Mitarbeitern, Herrn Assistent *Ed. Brunner,* den Herren Chemikern *W. Kahl* und *Hs. Stahel,* für die mannigfache Hülfeleistung Dank und Anerkennung auszusprechen.

Zürich, im Herbst 1899.

Prof. **L. Tetmajer.**

Einleitung.

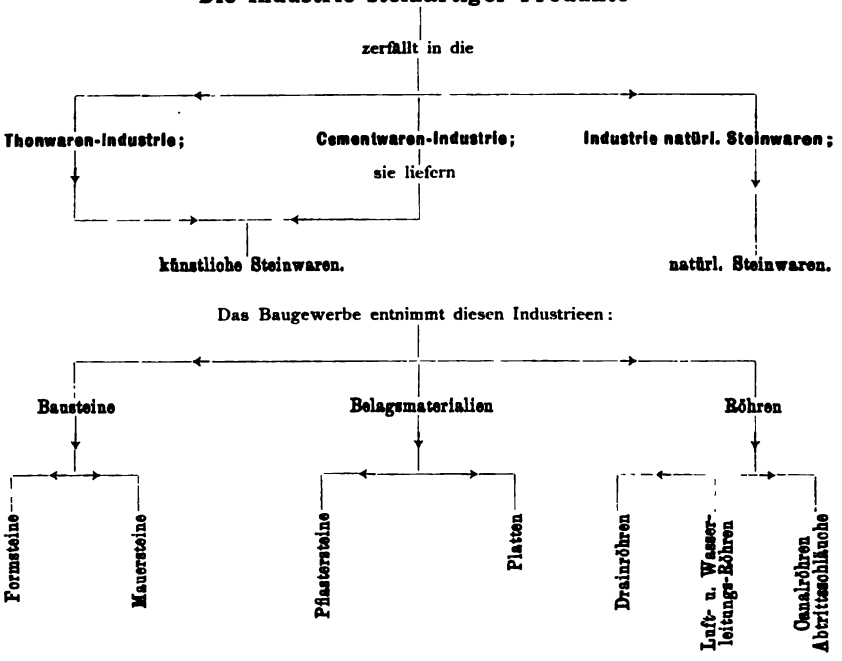
Aus dem Gebiete der Industrie-Erzeugnisse steinartiger Beschaffenheit, welche durch Bearbeitung oder entsprechende Verarbeitung mineralischer bezw. vegetabilischer Stoffe hervorgehen, verwendet das Baugewerbe allerlei Materialien und Gebrauchsgegenstände, die je nach Rohmaterialbeschaffenheit und Gewinnungsart verschiedenartige, charakteristische Merkmale besitzen, nach welchen sie geordnet und benannt werden.

Die steinartigen Materialien und Verbrauchsartikel des Baugewerbes entstammen den *Industrien der künstlichen oder natürlichen Steinwaren.* Erstere liefern Erzeugnisse, die unter substantieller Veränderung der verwendeten Rohstoffe oder Rohmaterial-Komponenten auf dem Wege eines Fabrikations-Verfahrens gewonnen werden, während die Erzeugnisse der Industrien der natürlichen Steinwaren lediglich nur durch eine Umgestaltung der Form, der Oberflächenbeschaffenheit der Rohmaterialien durch mechanische Fertigkeiten, so durch das *Zurichten, Schneiden, Behauen, Bohren, Drehen, Schleifen* oder *Polieren* hervorgegangen sind.

Den Industrien der *künstlichen* und *natürlichen Steinwaren* entnimmt das Baugewerbe seinen Bedarf an *Bausteinen,* an *Belagsmaterial* und *Röhren,* wie sie die Herstellung des Mauerwerks, die Pflasterung von Strassen, die Hartdeckung von Gebäuden erfordert, der Belag von Böden, der Wände und Gehwege, die Erstellung von Ventilationsanlagen, Wasserleitungen oder Entwässerungsanlagen, die Anlagen zur Abfuhr von Fäkalstoffen im Hoch- und dem städtischen Tiefbau mit sich bringen.

Vom Boden der Gewinnungs- und Verwendungsart der Erzeugnisse der Industrien der steinartigen Materialien und Gebrauchsartikel ist folgende allgemeine Einteilung der einschlägigen Materialien des Baugewerbes aufgebaut:

Die Industrie steinartiger Produkte



In die Kategorie der *Formsteine* gehören: Baluster, Gesimssteine, Gewände, Konsolsteine, Säulen, Schalen, Treppenstufen u. dgl. m.

Die *Mauersteine* dienen zur Erstellung von Mauerwerk aller Art und gelangen als *Hintermauerungs-* oder als *Rohbausteine* (Verblender) zur Anwendung.

Die *Platten* werden bald als Dachplatten, bald als Belags- oder Dekorationsplatten gebraucht.

I. Einteilung und Benennung der künstlichen und natürlichen Steinwaren.

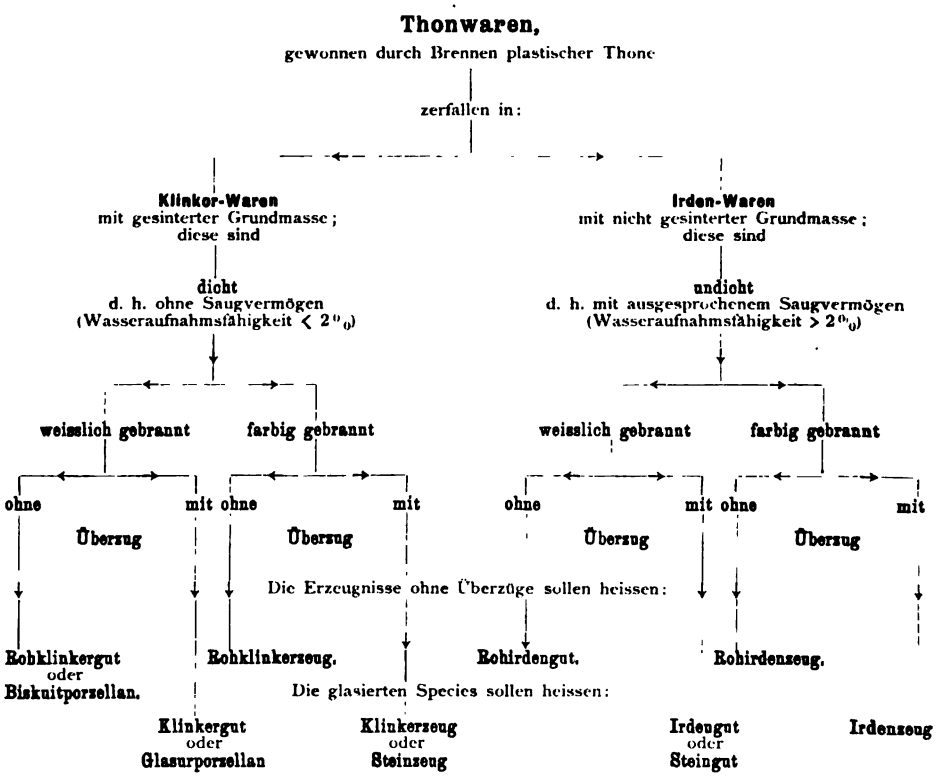
1. Produkte der Thonwaren-Industrie.

Den Erzeugnissen der Thonwaren-Industrie gemeinsam eigentümlich ist die Art ihrer Entstehung; sie werden durch Brennen entsprechend vorbereiteter, *plastischer* Thone gewonnen, wodurch dieselben unter substanzieller Veränderung ihrer ursprünglichen Beschaffenheit die Fähigkeit verlieren, bei dauernder Berührung mit Wasser zu erweichen oder breiartig zu zerfliessen. Die gebrannten Thone sind steinartig, kohaerent und hängt der Grad ihrer Wasserunempfindlichkeit von der chemischen Beschaffenheit, insbesondere von der Höhe der Brandtemperatur des Rohmaterials ab. Thonwaren, deren Grundmasse gegen Wasser indifferent ist, dasselbe also entweder gar nicht oder doch nur in ganz geringfügigem Masse kapillar aufnehmen, bezeichnet man als *dichte;* sie stehen im Gegensatze zu den *undichten* Thonwaren, welchen eine ausgesprochene *Saugkraft* eigentümlich ist. *Dichte* Thonwaren sind wasserundurchlässig. *Undichte* besitzen nicht selten die Fähigkeit des Erweichens in Wasser; oft sind sie wasserdurchlässig.

Als weiteres, charakteristisches Merkmal der Thonwaren gilt deren Brandfarbe und die Beschaffenheit ihrer Oberfläche. Im allgemeinen brennen die Thone *weiss* bezw. *weisslich* mit einem Stich ins gelbe oder graue oder sie brennen *farbig*. Man ist somit berechtigt, die Thonwaren in *weisslich-* oder *farbig-*brennende einzuteilen, die wieder bald *dicht,* bald *undicht* sein können. Die Beschaffenheit der Oberfläche ist bei den Thonwaren des Handels eine recht mannigfaltige. Die grösste Mehrzahl derselben kommt nach Farbe, Glanz und Struktur, der Beschaffenheit der Grundmasse entsprechend, also ohne *künstlichen Überzug* zur Anwendung. Häufig erhalten die Thonwaren aus

Gründen eines wirksamen Porenschlusses oder besserer dekorativer Wirkung *Überzüge* in Form von aufgetragenen Anstrichen (Theeren, Lackieren, Emaillieren etc.) oder aufgebranntem Metall- oder Erdglasuren (Engoben).

Auf Grundlage dieser Merkmale, in Anlehnung an Prof. Dr. *E. Hartig's* Vorschläge (vergleiche dessen lichtvolle Schrift « *Studien in der Praxis des kaiserlichen Patentamtes* », Ste. 100 u. f.) und entsprechend dem Sprachgebrauch des Technikers, welcher mit « *Roh* » den unfertigen, überzugslosen, unverputzten Zustand eines Bauwerks oder dessen Wände bezeichnet, lassen sich die Erzeugnisse der Thonwaren-Industrie folgendermassen einteilen und benennen:



Die bemalten, getheerten, lackierten, emaillierten, engobierten (erdglasierten) Thonwaren besitzen keinen besonderen Kollektiv-Namen. So spricht man z. B.

von *bemalten, engobierten, emaillierten Klinker-* oder *Irdenwaren,* gleichgültig ob die Grundmasse weisslich oder farbig gebrannt war.

Es gehören zur Gattung

des *Rohklinkerzeugs: Mauersteine* aller Art; *Dachziegel, Terracotten, Keramit* oder *Rostolith, Wedwood, Cromolith* u. dgl. m.;

des *Rohirdenguts: Thonzellen* für galvanische Elemente, *Thonpfeifen, Drainröhren* u. dgl. m.;

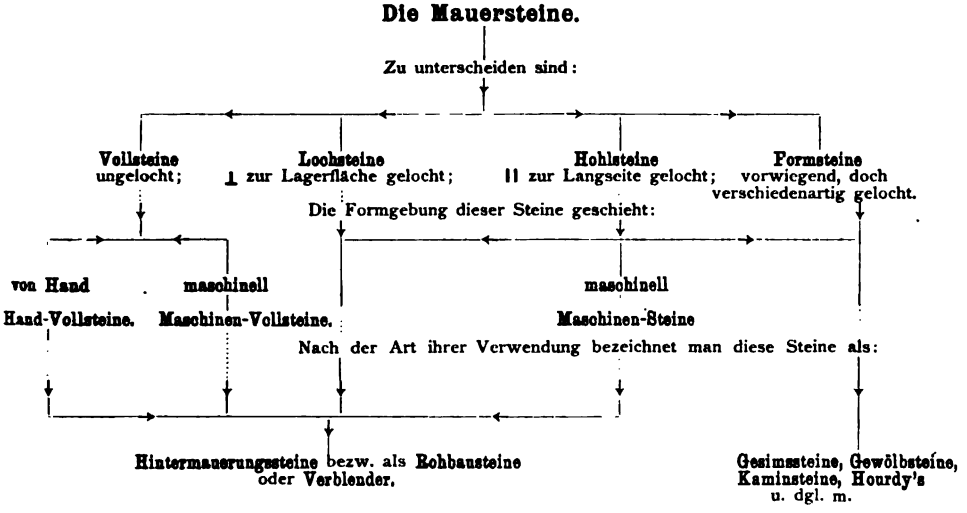
des *Rohirdenzeugs: Mauersteine* aller Art, *Dachziegel, Terracotten, Drainröhren, Blumentöpfe* u. dgl. m.

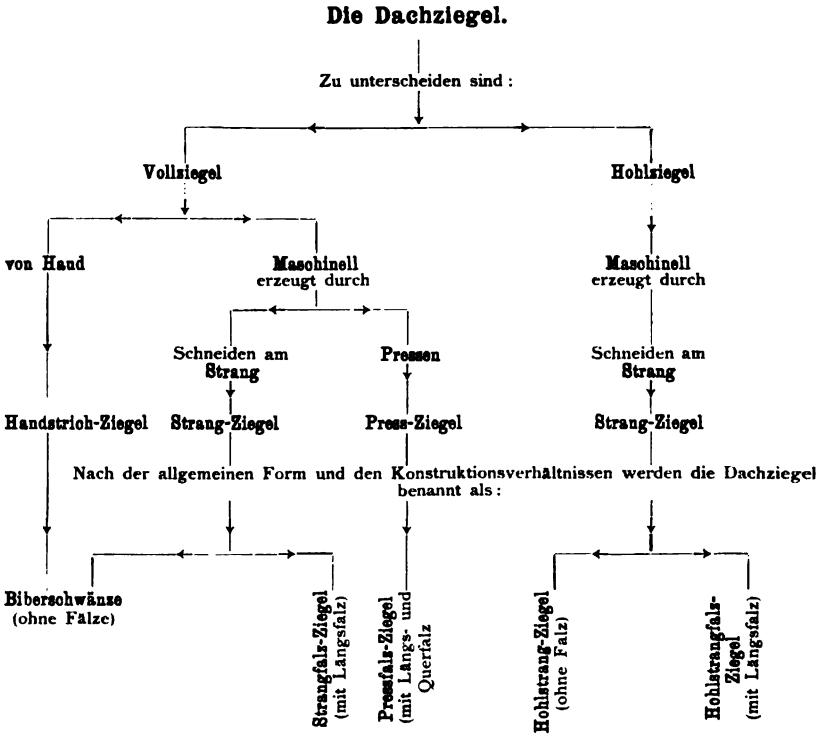
In *Klinker-* oder *Steinzeug* werden vorwiegend *Röhren* für Wasserleitung, für den *Kanalbau,* für *Abortschläuche,* ferner *Grundbausteine, Belagsplatten, Dachziegel* hergestellt.

In *Irden-* oder *Steingut* werden ebenfalls *Röhren, Terracotten, Dekorationsplatten,* hauptsächlich aber *Geschirr* erzeugt.

In die Kategorie des *Irdenzeugs* gehören: die *Fayencen,* die *Majolika,* und die *Töpferwaren.* Ferner *Mauersteine,* getheerte, blaugedämpfte, glasierte *Dachziegel* u. dgl. m.

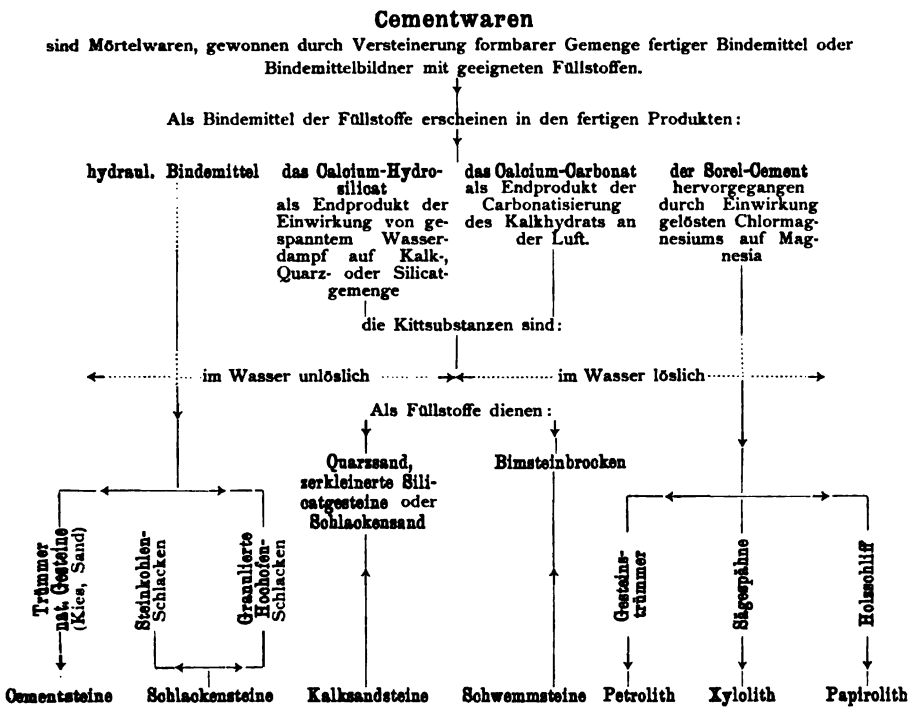
Die als Produkte der Thonwaren-Industrie hervorgegangenen *Mauersteine* und *Dachziegel* führen verschiedene, bald von der Form, bald von der Verwendungsart abgeleitete Benennungen, so:





2. Produkte der Cementwaren-Industrie.

Die Erzeugnisse der Cementwaren-Industrie weisen den Thonwaren ähnliche Mannigfaltigkeit nicht auf. Der Fabrikation nach sind die Cementwaren *Mörtelwaren;* sie werden durch Verarbeitung und späterer Versteinerung formbarer Gemenge aus fertigen Bindemitteln oder Bindemittelbildnern mit geeigneten, vorwiegend indifferenten Füllstoffen gewonnen. Als Füllmaterialien dienen bald mineralische, bald vegetabilische Stoffe, die den Erzeugnissen bestimmte, charakteristische Merkmale verleihen. Somit können die Erzeugnisse der Cementwaren-Industrie folgendermassen eingeteilt und bezeichnet werden:



Es gehören in die Kategorie der

Cementstein-Waren: Cementformsteine, Cementmauersteine, Cement-Quader, Cementpflastersteine, Cementplatten, Cementröhren etc.;

Schlackenstein-Waren: Form- und Mauersteine, Schlackenstein-Quader, Schlackenstein-Platten, Schlackenstein-Röhren etc.;

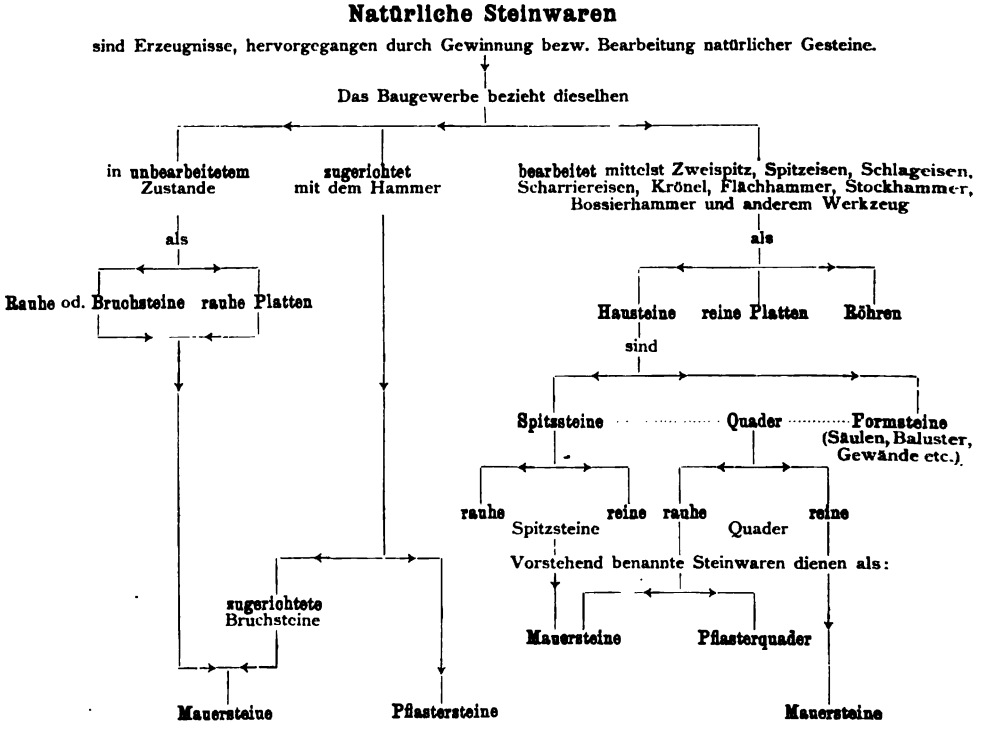
Kalksandstein-Waren: Kalksandstein-, Form- und Mauersteine, Kalksandstein-Quader und -Platten etc.

3. Produkte der Industrie der natürlichen Steinwaren.

Die charakteristischen Merkmale der Produkte der Industrie der natürlichen Steinwaren sind äussere und beziehen sich ausschliesslich nur auf die Beschaffenheit der Oberfläche, auf die Form und Bearbeitungsart des Materials. Für gleiche oder doch verwandte Anwendungsgebiete kommen verschiedenartige Stein-

materialien in gleicher Bearbeitungsart vor, so dass eine Ordnung der Erzeugnisse der Industrie der natürlichen Steinwaren auf Grundlage der petrographischen Merkmale und der geologischen Stellung des Rohmaterials nicht durchführbar ist. Dessen ungeachtet war es unerlässlich, auch der Benennung, Bezeichnung und Beurteilung der Rohmaterialien der Industrie der natürlichen Steinwaren vom petrographischen Standpunkte im vorliegenden Hefte einen angemessen breiten Raum zuzuweisen, dies um so mehr, als die Erfahrung lehrt, dass in der Frage der Wertschätzung einer Gesteinsart der Chemismus, die petrographischen Eigenschaften, bezw. die Zustandsform einer Gesteinsart oder deren Mineralkomponenten oft eine ausschlaggebende Rolle spielt, deren Wesen in dem üblichen Prüfungsverfahren häufig nicht zum Ausdrucke gelangt (vergl. Nr. VII des vorliegenden Heftes).

Nach ihrer Verwendungs- und Bearbeitungsart gestatten die natürlichen Steinwaren folgende Einteilung und Benennung:



Bruchsteine dienen zur Herstellung von *Trockenmauerwerk*, *rauhem Bruchsteinmauerwerk*, von *häuptigem Bruchsteinmauerwerk* (Abart: Polygonmauerwerk). Als Mauersteine gelangen sie *unbearbeitet* zur Ablieferung. Steine für häuptiges Bruchsteinmauerwerk sollen zur Erzielung eines regelrechten Verbandes und eines angenähert ebenen, wenn gleich rauhen Hauptes, in der Regel durch den Maurer mittelst des Hammers zugerichtet werden.

Rauhe Spitzsteine dienen zur Herstellung des *Spitzsteinmauerwerks*. Sie sollen lagerhafte, angenähert parallele, mittelst Spitzhammer oder Spitzeisen gearbeitete Stoss- und Lagerflächen erhalten. Nach *Moser**) sollen die bearbeiteten Lager mindestens die halbe Lagerfläche des Steines, ins Haupt tretende Steine mindestens zwei Drittel derselben umfassen. Sichtbare Spitzsteine sollen 15 cm vom Haupte rechtwinklig gearbeitete Stoss- und Lagerflächen besitzen.

Reine Spitzsteine dienen zur Herstellung des *Schichtenmauerwerks*, bei welchem in der nämlichen Schicht nur zwischen Schlägen rechtwinklig und sauber gearbeitete Spitzsteine gleicher Höhe zur Anwendung gelangen. Die bearbeiteten Stoss- und Lagerfugen sollen nach *Moser* mindestens drei Viertel der Ausdehnung des Steines haben und die ins Haupt tretenden Steine mindestens auf 25 cm Tiefe vollkantig sein.

Rauhe Quader finden im Innern einer Mauer, in Fundamenten, in Deckeldohlen u. dgl. m. Anwendung (rauhes Quadergemäuer). Rauhe Quader müssen nach Mass gearbeitet, ebenflächig und stets vollkantig sein.

Reine Quader dienen zur Herstellung des *reinen Quadergemäuers*. Die einzelnen Werkstücke müssen genau nach Mass gearbeitet, vollkommen ebenflächig und scharfkantig sein. Die Gesichtsflächen solcher Quader können zwischen einem saubern, gleichbreiten Schlag gespitzt, gekrönelt, gestockt, bossiert, geschliffen, geschliffen und poliert werden.

Pflastersteine sind in der Regel allseitig lediglich bloss mittelst des Hammers zugerichtete Bruchsteine oder Fluss-

---

*) Siehe die von *Moser* bearbeiteten „Besondere Bestimmungen für die Ausführung des Mauerwerks der schweiz. Nord-Ost-Bahn."

geschiebe; ausnahmsweise sind die Stirnflächen dieser Steine ebenflächig gearbeitet. Stoss- und Lagerflächen bleiben zugerichtet.

Pflasterquader sind meist würfelförmig oder prismatisch gearbeitete rauhe Quader; sie müssen angenähert ebenflächig und vollkantig sein. Pflasterquader erster Güte bilden nach ihrer Bearbeitung den Übergang zu *reinen Quadern* (z. B. in Stockholm).

Rohe Platten sind unbearbeitet; *reine Platten* genau nach Mass ebenflächig und scharfkantig gearbeitet.

II. Methoden der Untersuchung der künstlichen und natürlichen Bauwerksteine.

1. Die chemisch-analytischen Untersuchungsmethoden

zusammengestellt von

W. Kahl,

Chefchemiker der Anstalt.

Die hieher gehörigen Materialien zerfallen in chemisch-analytischer Hinsicht in folgende Gruppen:

1. Gruppe: *Kieselsäurereiche Materialien:*
   wie die Silicatgesteine, die Sandsteine, die Schiefer, die Erzeugnisse der Thonwaren-Industrie u. dgl. m.
2. Gruppe: *Kieselsäurearme Materialien:*
   Kalkstein und dessen Abarten, Gyps u. dgl. m.

a) Vorbereitung des Analysenmaterials.

Die Zuverlässigkeit der Resultate hängt in erster Linie von der Art und Weise des Probenehmens ab. Es muss deshalb hierauf besondere Sorgfalt verwendet werden. Das vorhandene Muster (oft dienen zur Analyse Bruchstücke der zu den Festigkeitsversuchen verwendeten Probekörper) wird auf ca. Haselnussgrösse zerkleinert und ausgebreitet. Hiervon wird eine Durchschnittsprobe pulverisiert, am 900-Maschensieb abgesiebt, der Rückstand wieder pulverisiert und so fort, bis die letzten Reste der Probe durch das Sieb gegangen sind. Auf letztern Umstand ist ganz besondere Sorgfalt zu verwenden, da sonst leicht eine Separation der Materialkomponenten nach dem Härtegrade eintreten könnte. Bevor das Siebgut analysiert wird, mischt man dasselbe gründlich durch.

b) Beschreibung der Arbeits-Methoden.

α. Bestimmung der Feuchtigkeit.

Eine gewogene Menge (ca. 2 gr) des Steinpulvers wird auf gewogener Uhrschale bei ca. 120° C bis zum konstanten Gewicht getrocknet. Der Gewichtsverlust ist gleich der Feuchtigkeit.

β. Bestimmung des Glühverlustes.

Circa 2 gr der getrockneten Substanz werden im geglühten und tarierten Platintiegel abgewogen, etwa 10 Minuten auf dem Bunsenbrenner und darauf ca. 30 Minuten auf dem Gebläse geglüht. Man lässt im Exsiccator erkalten und wiegt. Der Glühverlust besteht bei Abwesenheit von oxydierbaren Substanzen aus: gebundenem Wasser, Kohlensäure und Bitumen. Nach der Bestimmung der Kohlensäure wird sie vom Glühverlust abgezogen, der Rest als Wasser und Bitumen in Rechnung gestellt. Sind oxydierbare Substanzen zugegen, z. B. FeO, Pyrit u. dgl., so kann durch Oxydation teils Gewichtszunahme entstehen, (Oxydation von FeO zu Fe_2O_3, oder CaS zu $CaSO_4$) teils Gewichtsabnahme durch Verbrennung und Verflüchtigung des Schwefels (FeS_2 geht über in Fe_2O_3 und SO_2). Bei Gegenwart von FeO ist dieses in besonderer Probe zu bestimmen (vide S. 27). Oxydierbarer Schwefel ist in der bei pyrithaltigen Materialien gegebenen Weise zu ermitteln (S. 28).

γ. Bestimmung der Kohlensäure.

Die Kohlensäure kann entweder auf gravimetrischem oder volumetrischem Wege bestimmt werden. Von allen Bestimmungsmethoden der Kohlensäure ist die gravimetrische Methode nach *Fresenius-Classen* die zuverlässigste. Hiebei wird die Kohlensäure in mit Natronkalk gefüllten Röhren absorbiert; die Gewichtszunahme ergiebt den Gehalt an CO_2.

Der Apparat:

Ein Erlenmeyerkolben von ca. 200—300 cc Inhalt ist durch dreifach durchbohrten Kautschukstopfen mit einem aufrecht stehenden Rückfluss-Kugelkühler verbunden, dessen oberes Ende durch Glasrohrleitung mit den Trocken- und Absorptionsapparaten verbunden ist. Durch die andern Bohrungen des Stopfens gehen: 1. ein Hahntrichter für den Zufluss der Zersetzungssäure und

2. ein bis auf den Boden des Kolbens gehendes Zuleitungsrohr, durch welches mittelst Gasometerdrucks kohlensäurefreie Luft eingeleitet werden kann. Die durch den Kühler und das Verbindungsrohr entweichenden Gase passieren nun zunächst drei U-Röhren zur Trocknung des Gasstroms. Die erste U-Röhre enthält Glasperlen und concentrierte Schwefelsäure, die folgenden beiden enthalten mit Kohlensäure gesättigtes Chlorcalcium. Hieran schliessen sich zur Absorption der Kohlensäure die beiden gewogenen Natronkalkröhren. Die erste derselben ist ganz mit Natronkalk, die zweite zu ca. zwei Drittel mit Natronkalk und mit ca. ein Drittel Chlorcalcium gefüllt. Dieses Chlorcalcium hat den Zweck, allfällig aus dem Natronkalk ausgetriebenes Wasser zurückzuhalten. Den Schluss des Apparates bildet ein Schutzrohr mit Chlorcalcium gegen Einflüsse bei allfälligem Rückgange des Gasstromes.

Gang der Bestimmung:

In den Erlenmeyerkolben wiegt man 0,1 bis 0,5 gr der zu untersuchenden Substanz ab, überschichtet mit Wasser, setzt den Apparat vollständig zusammen und prüft ihn auf Dichtigkeit. Hierauf lässt man verdünnte Salzsäure (1 : 2) durch den Hahntrichter einfliessen, kocht ca. 10 Minuten und lässt 30—45 Minuten lang einen mässig raschen Strom von kohlensäurefreier Luft durch den Apparat streichen. Hierauf werden die Natronkalkröhren ausgeschaltet, ca. 20 Minuten lang im Wagezimmer stehen gelassen und gewogen. Die Gewichtszunahme ist Kohlensäure.

In weitaus den meisten Fällen verwenden wir die volumetrische Bestimmungsmethode von *Lunge und Marchlewsky*. Der hierzu konstruierte Apparat gestattet, durch Benutzung des Gasvolumeters von *Lunge* die Bestimmung der Kohlensäure auf volumetrischem Wege ohne Reduktionstabellen auszuführen. Trotz seiner scheinbaren Kompliziertheit gestattet er schnelles und genaues Arbeiten.

Der Apparat (vergl. Fig. 1).

Das Entwicklungskölbchen A ist durch Kautschukstopfen und Kapillare b verbunden mit dem Gasmessrohr B, welches 140 cc fasst. Der Doppelhahn c gestattet, die Messröhre entweder mit dem Entwicklungskölbchen oder mit dem Orsatrohr E zu verbinden. Das Orsatrohr enthält Ätznatronlösung 1 : 3. Das

Messrohr ist am untern Ende durch dickwandige Kautschukschläuche mit dem Reduktionsrohr C und dem Niveaurohr D verbunden. Das Reduktionsrohr C besitzt oben einen Glasstopfen mit Glasbecher und unterhalb der Erweiterung eine von 100 bis 140 cc reichende Einteilung, und enthält ein für allemal so viel feuchte Luft, dass diese bei 0° C und 760 mm Barometerstand in trockenem Zustand ein Volumen von 100 cc einnehmen würde.

Fig. 1.

Diese Einstellung des Reduktionsrohres geschieht auf folgende Weise: Man füllt B, C, D etwa zur Hälfte mit Quecksilber, wobei der Hahn c und der Stopfen von C offen sind, bringt in C ein Tröpfchen Wasser und stellt nun das Quecksilber in C auf den durch die Formel

$$V = \frac{100\ (273 + t)\ 760}{273\ (b - t + 2)}$$

gegebenen Punkt ein. V = Volumen der Luft bei herrschendem Barometerstand und vorhandener Temperatur, welches obiger Forderung entspricht. Voraussetzung ist, dass t = Temperatur des Apparates, innerhalb der Grenzen von 12 bis 25° C, b = herrschender Barometerstand, wobei die direkte Ablesung bei Temperaturen unter 13° C um 1 mm, bei 13—20° um 2 mm, bei 20—25° um 3 mm zu verringern ist. Nun wird der Stopfen des Reduktionsrohres geschlossen und durch Füllen des Bechers mit Quecksilber und Andrücken des

Glasstopfens durch einen Kautschukstopfen jede Möglichkeit von Gasverlust vermieden.

Die beiden Röhren C und D sitzen in einer Doppelklammer, welche durch Drahtseil, Rolle mit Kurbelantrieb und Sperrklinke in jeder beliebigen Höhe festgehalten werden kann. Für die feine Einstellung befindet sich am eisernen Gestelle eine Stellschraube mit Gabel. Am untern Ende der Führungsstange verhindert ein Kautschukring das harte Aufschlagen der Doppelklammer. Zu erwähnen ist noch das an der letzteren befindliche Visierlineal mit Wasserwage.

Ausführung der Bestimmung:

Nachdem man sich überzeugt, ob der Apparat dicht schliesst, bringt man in das Entwicklungskölbchen die abgewogene Probe der zu untersuchenden Substanz. Die Grösse der Einwage wird am besten nach dem mutmasslichen Gehalt an CO_2 gewählt. Will man sich am Schluss der Bestimmung die Umrechnung von Kubikcentimeter Kohlensäure auf Gramm Kohlensäure (Multiplikation mit 0,001966) ersparen, so wägt man sich passende Gewichtsmengen der zu untersuchenden Substanz ab. Sollen die Prozente an CO_2 direkt abgelesen werden können, so wägt man ab:

bei kalkreichem Material 0,1966 gr; 1 cc entspr. 1% CO_2
» weniger kalkreichem Material 0,3932 » 1 cc » 0,5% CO_2
» kalkarmem Material 1,966 » 1 cc » 0,1% CO_2

Sollen die Prozente an kohlensaurem Kalk direkt abgelesen werden können, so wägt man ab:

bei kalkreichen Materialien 0,2227 gr; 1 cc entspr. 2,0% $CaCO_3$
» weniger kalkr. Materialien 0,4454 » 1 cc » 1,0% $CaCO_3$
» kalkarmen Materialien 2,227 » 1 cc » 0,2% $CaCO_3$

Zu dieser Einwage fügt man noch ca. 0,082 gr feinsten Aluminiumdraht, welcher zur Entwicklung von etwas über 100 cc Wasserstoff hinreicht. Nunmehr setzt man auf das Kölbchen den Kautschukstopfen mit Hahntrichter und Capillare und verbindet mit dem Messrohr. Durch Senken des Niveaurohrs saugt man nun die Luft aus dem Entwicklungskölbchen in das Messrohr, schliesst den Hahn c und treibt durch Heben des Niveaurohrs bei nach d geöffnetem Hahn (der Hahnschlüssel von d wird am besten hiebei herausgenommen) die Luft aus der Messröhre.

Diese Manipulation wiederholt man noch ca. dreimal, dann ist A genügend evakuiert. Nun lässt man durch den Hahntrichter ca. 10 cc verdünnte Salzsäure eintreten und erwärmt gelinde. Die verdünnte Salzsäure wird hergestellt, indem man 1 Volumen konzentrierte Salzsäure mit dem dreifachen Volumen ausgekochten Wassers mischt. Der Hahn c wird nun geöffnet und das Niveaurohr immer so gestellt, dass das Quecksilber in D stets tiefer als in der Messröhre B steht. Macht sich Säuremangel fühlbar, so lässt man noch mehr Säure in A eintreten. Durch den Zutritt der Säure zur Substanz wird die Kohlensäure frei gemacht, die bei der herrschenden Luftverdünnung grösstenteils aus der Flüssigkeit entweicht. Die letzten Anteile, die noch gelöst bleiben, werden durch den sich gleichzeitig entwickelnden Wasserstoff ausgetrieben. Ist alles Aluminium gelöst, so lässt man noch Säure oder ausgekochtes Wasser in A einfliessen, bis A und die Kapillare gefüllt sind, schliesst den Hahn c und wartet ca. 10 Minuten zur Temperaturausgleichung. Inzwischen können Kölbchen und Kapillare abgenommen und für einen zweiten Versuch vorbereitet werden. Nun stellt man C und D so, dass das Quecksilber in C auf 100 cc und zugleich genau so hoch wie in B steht (unter Zuhülfenahme des Visierlineals mit Wasserwage) und liest den Stand des Quecksilbers ab. Nun wird das Orsatrohr E bis zum Hahn d gefüllt (durch Blasen in den einen Schenkel) und in Kommunikation mit B gesetzt. Durch Heben des Niveaurohrs führt man das Gas dreimal nach E hinüber und zurück, lässt die Lauge in E wieder bis zum Hahn d steigen und schliesst c. C und D werden nun wie vorhin eingestellt (Quecksilber in C. auf 100 und gleich hoch wie in B), und wieder abgelesen. Die Differenz der beiden Ablesungen entspricht nun der Kohlensäure reduziert auf 760 mm und 0°. Hat man nicht die vorerwähnten Einwagen gemacht, so enthält die Substanz

$\frac{0{,}1966\ n}{p}$ Prozente CO_2 oder $\frac{0{,}4454\ n}{p}$ Prozente $CaCO_3$.

n = Anzahl der gefundenen cc Kohlensäure, p = abgewogene Substanz in gr.

δ. Bestimmung von Kieselsäure, Thonerde, Eisenoxyd, Manganoxydul, Kalk, Magnesia, Schwefelsäureanhydrid und Trennung dieser Bestandteile voneinander.

1,5 bis 2 gr des bei 120° bis zur Gewichtskonstanz getrockneten Materials werden in einem Platintiegel mit der 8- bis 10fachen Menge reinster Soda gut gemischt, hierauf eine halbe Stunde auf dem Bunsenbrenner und schliesslich auf dem Gebläse so lange geglüht, bis die geschmolzene Masse keine Gasentwicklung mehr zeigt. Der glühende Tiegel wird dann auf eine blanke Eisenplatte zum Abkühlen gestellt. Dadurch erreicht man, dass die Schmelze sich leicht aus dem Tiegel herauslösen lässt. Man bringt sie alsdann in eine Porzellanschale, fügt noch die vom Spülen des Tiegels resultierende Flüssigkeit hinzu, überdeckt mit einem Uhrglas und übergiesst mit mässig verdünnter Salzsäure, worauf die Schale aufs Wasserbad gestellt wird. Durch vorsichtiges Zerdrücken der Masse mit einem Glasstab gelingt es, die Auflösung der Schmelze zu beschleunigen. Das Ende der Zersetzung erkennt man am Verschwinden von harten, beim Zerdrücken Kohlensäure entwickelnden Partieen. Hierauf nimmt man das Uhrglas ab, nachdem man es etwas abgespült hat, dampft den Schaleninhalt bis zur Staubtrockne ein, erhitzt auf dem Luftbade eine halbe Stunde bei ca. 130°, lässt erkalten und übergiesst mit mässig verdünnter Salzsäure. Man lässt aufkochen und dekantiert mit heissem Wasser, dem man anfangs etwas Salzsäure zusetzt, durch ein aschenfreies Filter in einen 250 cc fassenden Masskolben. Viel Salzsäure ist zu vermeiden, da einerseits die Kieselsäure nicht ganz unlöslich darin ist, andererseits muss später, bei der Fällung der Sesquioxyde, die Salzsäure mit Ammoniak neutralisiert und das entstandene Chlorammonium aus dem Niederschlage ausgewaschen werden, was bekanntlich mit Schwierigkeiten verbunden ist. Schliesslich wird der Niederschlag aufs Filter gebracht, bis zum Verschwinden der Chlorreaktion ausgewaschen und im Platintiegel feucht verbrannt. Das Filtrat wird nach dem Erkalten bis zur Marke aufgefüllt und in je 50 cc die weiteren Bestimmungen ausgeführt.

Sofern der Gehalt an Manganoxydul 2% nicht übersteigt, was aus der Färbung einer Schmelzprobe mit Soda ungefähr ermittelt werden kann, genügt Fällung der Sesquioxyde mit

CO_2-freiem Ammoniak bei Gegenwart von viel Ammonsalzen, in deren Überschuss das Mangan gelöst bleibt. Man versetzt hiezu die kochende Flüssigkeit tropfenweise mit Ammoniak in ganz geringem Überschuss, kocht noch ca. 1 Minute und filtriert so rasch als möglich. Man wäscht mit heissem Wasser bis zum Verschwinden der Cl-Reaktion und verbrennt nass im Platintiegel. Ist das Material manganfrei oder enthält es nur ganz geringe Mengen desselben, so wird das Filtrat direkt zum Fällen des Kalks verwendet; andernfalls fällt man mit Schwefelammonium Mangansulfid, lässt den Niederschlag über Nacht absitzen, filtriert, wäscht mit Chlorammonium- und Ammonsulfid-haltigem Wasser aus, trocknet, bringt den Niederschlag in einen Porzellantiegel, äschert das Filter ein und fügt die Filterasche zum Niederschlag, glüht das Ganze bei Luftzutritt vor dem Gebläse, wiegt als Mn_3O_4 und rechnet um auf MnO.

Ist der Mangangehalt grösser als 2 %, so wendet man zur Trennung von den Sesquioxyden die Acetatmethode an. Die Lösung wird mit Ammonkarbonat neutralisiert, bis eben ein bleibender Niederschlag entsteht; dieser wird mit einigen Tropfen Essigsäure gelöst, so dass die Lösung genau neutral ist. Nun wird eine gesättigte Lösung von Ammonacetat zugesetzt und mit kochendem Wasser sehr stark verdünnt. Thonerde und Eisenoxyd scheiden sich als basische Acetate ab. Sie werden abfiltriert, nochmals in verdünnter HCl gelöst, wieder mit Ammoniak gefällt, filtriert und das Filtrat dem ersten zugefügt. In den vereinigten Filtraten bestimmt man Mangan wie oben.

Ist die Bestimmung des Mangans nicht ausgeführt worden, so wird das Filtrat von den Sesquioxyden nach dem Eindampfen auf ein geeignetes Volumen direkt zum Fällen des Kalks verwendet. Andernfalls benutzt man das Filtrat von der Manganfällung, welches zur Befreiung von Ammonsulfid mit Salzsäure angesäuert, eingedampft, mit Wasser aufgenommen und filtriert wird. Nach der Neutralisation mit Ammoniak wird das Filtrat zum Sieden erhitzt, mit siedender Ammonoxalatlösung und ein paar Tropfen Ammoniak der Kalk als Calciumoxalat (CaC_2O_4) gefällt. Der Niederschlag wird einige Stunden auf dem Wasserbad, sodann bis am andern Morgen bei Zimmertemperatur stehen gelassen, abfiltriert, sehr gut mit heissem Wasser gewaschen, feucht verbrannt und scharf vor dem Gebläse geglüht. Dadurch

wird das Calciumoxalat in Calciumoxyd übergeführt und hierauf als solches gewogen.

Das Filtrat wird soweit nötig eingedampft, erkalten gelassen und durch Zusatz von Ammonchlorid, Natriumphosphat (Na_2HPO_4) und Ammoniak die Magnesia als Magnesiumammoniumphosphat ($MgNH_4PO_4$) gefällt. Man filtriert nach 12 Stunden ab, trocknet den Niederschlag, löst ihn soweit als möglich vom Filter, äschert letzteres in der Platinspirale ein, fügt die Filterasche zum Niederschlage, führt das Ganze durch Glühen in Magnesiumpyrophosphat ($Mg_2P_2O_7$) über und berechnet auf Magnesiumoxyd.

In einer zweiten Portion von 50 cc wird das Eisenchlorid durch Zink zu Chorür reduziert und mit einer auf Blumendraht eingestellten Lösung von Kaliumpermanganat bis zur eben bleibenden Rotfärbung titriert; das gefundene Eisenoxyd wird von der Summe der Sesquioxyde abgezogen. Die Differenz entspricht der Thonerde. Um die störenden Wirkungen der in der Lösung befindlichen Salzsäure zu eliminieren, setzt man vor der Titration zu der Flüssigkeit 20 cc Mangansulfatlösung (200 gr $MnSO_4$ + 5aq in 1 Liter Wasser).

Die Schwefelsäure wird in einer neuen Portion von 50 cc bestimmt. Man erhitzt zum Sieden, fällt mit kochender Chlorbariumlösung und lässt einige Stunden auf dem Wasserbade stehen; hierauf filtriert man durch ein doppeltes aschenfreies Filter, wäscht sorgfältig mit heissem Wasser aus, das schwach mit Salzsäure angesäuert ist und verbrennt nass auf einem Bunsenbrenner in einem gewogenen Platintiegel; aus dem gewogenen Bariumsulfat wird SO_3 berechnet.

In einigen Fällen ist die Ausführung der direkten Bestimmung der Alkalien geboten; man verfährt alsdann folgendermassen:

1,5 bis 2 gr der zu untersuchenden Substanz werden mit Salzsäure und Flusssäure auf dem Wasserbade im Platinschälchen aufgeschlossen und hierauf mit Schwefelsäure auf einer kleinen Flamme bis zur Trockne abgeraucht. Der Tiegelinhalt wird mit Salzsäure aufgenommen, wobei kein knirschender Rückstand bleiben darf. Ist dies dennoch der Fall, so giesst man das Klare soweit möglich ab und unterwirft den Rückstand einer nochmaligen Behandlung mit Flusssäure. Hierauf werden mit reiner Ätzbarytlösung (in geringem Überschuss) Schwefelsäure, Thonerde,

Eisenoxyd und Magnesia abgeschieden. Das Filtrat von der Fällung wird bei gelinder Wärme mit Ammonkarbonat behandelt, filtriert, das Filtrat angesäuert, eingedampft, der Salmiak durch Glühen verjagt, der Rückstand gelöst, die Behandlung mit Ammonkarbonat u. s. w. so oft wiederholt, bis die Chloralkalien rein erhalten werden. Man wägt als Chloride. Nun löst man wieder in wenig Wasser, fügt überschüssiges Platinchlorid hinzu, verdampft auf dem Wasserbad bis fast zur Trockne, behandelt mit 80 %igem Weingeist, sammelt den Niederschlag auf einem bei 110° getrockneten und gewogenen Filter, wäscht mit Weingeist aus, trocknet bei 110°, wägt als Kaliumplatinchlorid und berechnet auf Kaliumoxyd.

Das Natriumchlorid, das sich im Filtrat als Doppelsalz vorfindet, ergiebt sich, wenn man die gefundene Menge Kaliumchlorid von der Gesamtsumme der Chloride abzieht. Die erhaltene Zahl wird auf Natriumoxyd umgerechnet.

ε. Materialien, welche Hochofenschlacke enthalten.

Diese Materialien enthalten stets einen mehr oder minder hohen Gehalt an Calciumsulfid und Eisenoxydul neben Eisenoxyd. Die Bestimmung des Glühverlustes würde hier zu falschen Resultaten führen, indem während des Glühens auch *Oxydationsprozesse* verlaufen, die teils Gewichtszunahme bedingen, teils Gewichtsabnahme durch Verflüchtigung von Schwefel herbeiführen. Deshalb treten bei der Analyse solcher Materialien verschiedene Modifikationen der eben beschriebenen Methoden ein.

Die Bestimmung der *Kohlensäure* kann nicht in gewöhnlicher Weise im Apparat von Lunge-Marchlewsky ausgeführt werden, da die Gefahr besteht, dass der durch die Salzsäure aus Calciumsulfid entwickelte Schwefelwasserstoff mit der Kohlensäure bestimmt und als solche berechnet würde. Man führt daher die Bestimmung der Kohlensäure im Apparat von Fresenius-Classen aus und fügt mit der Salzsäure 20 cc Kupferchloridlösung zu (20 gr Kupferchlorid in 100 cc Wasser). Der entwickelte Schwefelwasserstoff bildet mit Kupferchlorid in Salzsäure unlösliches Kupfersulfid.

Die Bestimmung des *Wassers* muss auf direktem Wege geschehen. In einem kurzen Verbrennungsofen liegt eine Ver-

brennungsröhre, die eine ca. 20 cm lange, zwischen zwei Asbestpfropfen eingeschlossene Schicht von Bleisuperoxyd enthält. Zur Vertreibung des darin enthaltenen Wassers wird die Röhre erhitzt, während zugleich ein getrockneter Luftstrom hindurchgeleitet wird. Unterdessen wägt man in einem Porzellanschiffchen 1 gr des Materials ab. Ist alles Wasser aus der Röhre vertrieben, so setzt man an das freie Ende der Verbrennungsröhre ein mit karbonisiertem Chlorcalcium gefülltes und gewogenes Absorbtionsrohr an. Am andern Ende schiebt man das Porzellanschiffchen mit der Substanz ein und erwärmt nun das ganze Rohr unter fortwährendem Durchleiten getrockneter Luft. Das Wasser entweicht aus der Substanz und wird im Chlorcalciumrohr aufgefangen und gewogen. Die sich bildenden flüchtigen Schwefelverbindungen werden durch das Bleisuperoxyd zurückgehalten.

Bestimmung des Sulfidschwefels neben Sulfaten. Durch Lösen in Salzsäure und Abscheiden der Kieselsäure, wie S. 23 angegeben, wird im Filtrate von der Kieselsäure die Schwefelsäure bestimmt (S. 25). Diese Menge entspricht dem Sulfatgehalt.

Eine zweite Probe lässt man 24 Stunden mit schwefelsäurefreiem Bromwasser unter zeitweisem Umrühren stehen. Das Schwefelcalcium wird hierdurch zu Calciumsulfat oxydiert. Man fügt nun Salzsäure zu, dampft ab, entfernt die Kieselsäure und bestimmt im Filtrate die Gesamtmenge des Schwefels. Gesamtschwefel minus Sulfatschwefel ergiebt Sulfidschwefel. Letzterer wird noch auf CaS umgerechnet, und vom Gesamtkalkgehalt der dem CaS entsprechende CaO-Gehalt subtrahiert.

Bestimmung von Eisenoxydul neben Eisenoxyd. Man löst eine Probe des Materials von 0,1—0,5 gr im Kohlensäurestrom in starker Salzsäure oder verdünnter Schwefelsäure und titriert mit Kaliumpermanganat. Hat man in Schwefelsäure gelöst, so unterbleibt ein Zusatz von Mangansulfat (vergl. S. 25).

Ist das Material auf obige Weise nicht oder nur teilweise zersetzbar, so bringt man 0,5 gr desselben in eine einerseits zugeschmolzene Einschmelzröhre, fügt ca. 20 cc verdünnte Schwefelsäure (1 : 1) hinzu und schmilzt das andere Ende ebenfalls zu. Die Röhre wird nun während 10 Stunden auf ca. 250—300 ° im Kanonenofen erhitzt, erkalten gelassen, geöffnet, in ein

Becherglas entleert und ausgespült. Die erhaltene Flüssigkeit wird mit Kaliumpermanganat titriert.

Das Resultat der Titration entspricht dem Eisenoxydulgehalt des Materials. Gesamteisengehalt minus Oxyduleisengehalt ergiebt Oxydeisengehalt.

ζ. Pyrithaltige Materialien.

Enthält ein Material Pyrit, so muss bei der Analyse desselben hierauf Rücksicht genommen werden: Bei der Aufschliessung solcher Materialien durch Schmelzen mit Soda wird ein Teil des Pyritschwefels zu Schwefelsäure oxydiert und würde im Filtrat mit dem Sulfatschwefel bestimmt. Daher verfährt man in folgender Weise:

Bestimmung des Gesamtschwefels: 3 gr des fein gepulverten Materials werden mit 20 cc eines Gemisches von 1 Teil concentrierter Salzsäure und 3 Teilen concentrierter Salpetersäure auf dem Wasserbad 10 Minuten lang digeriert, die Flüssigkeit abgegossen und der Rückstand zur Trockne eingedampft. Diese Operationen werden noch zweimal wiederholt. Schliesslich wird der Rückstand abfiltriert und ausgewaschen. Hierdurch gelingt es leicht, den Pyritschwefel vollständig zu Schwefelsäure zu oxydieren. Die vereinigten Flüssigkeiten samt Waschwasser werden auf dem Wasserbade vorsichtig zur Trockne eingedampft, ½ Stunde auf 130° erhitzt, mit concentrierter Salzsäure angefeuchtet, alsdann mit Wasser verdünnt und die Kieselsäure durch Filtration entfernt. Im Filtrate fällt man die Schwefelsäure mit Bariumchlorid in angegebener Weise aus (S. 25).

Bestimmung des Sulfatschwefels: 3 gr des Materials werden mit concentrierter Salzsäure ausgezogen und der Auszug zur Entfernung der Kieselsäure abgedampft. In dem von der Kieselsäure resultierenden Filtrate wird die Schwefelsäure gefällt. Man berechnet die gefundene Menge auf $CaSO_4$. Die Differenz der beiden Bariumsulfatmengen wird zunächst auf S und dann auf FeS_2 (Pyrit) umgerechnet.

Ist der Pyritgehalt unter 1 %, so kann die *Kohlensäurebestimmung* in gewöhnlicher Weise im Lunge'schen Apparat aus-

geführt werden. Bei einem höhern Gehalt jedoch ist die Gefahr vorhanden, dass der aus dem Pyrit entwickelte Schwefelwasserstoff mit der Kohlensäure bestimmt und als solche berechnet wird. Man verfährt daher, wie bei den schlackenhaltigen Materialien angegeben (S. 26).

Schiefer: Der Wert der Schiefer als Bedachungsmaterial wird in erster Linie durch den Gehalt an Karbonaten, in zweiter Linie durch den Pyritgehalt beeinflusst; es genügt somit bisweilen die Bestimmung dieser Bestandteile des Schiefers allein auszuführen.

η. Produkte der keramischen Industrie.

Bei den gebrannten Thonwaren fällt meist die Bestimmung der Kohlensäure weg. Man beschränkt sich auf die Bestimmung des Glühverlustes. Insbesondere bei Verblendziegeln wird ausser der Analyse in der beschriebenen Art auch noch die Bestimmung der Quantität der in Wasser löslichen Salze ausgeführt. Dies geschieht folgendermassen:

Bruchstücke aus dem Innern von drei verschiedenen Steinen werden gepulvert und das Mehl am 900- und 4900-er Maschensieb abgesiebt. 25 gr des zwischen diesen Sieben verbleibenden Materials werden mit 250 cc Wasser gekocht, wobei das verdampfende Wasser ersetzt wird. Hierauf wird filtriert und ausgewaschen. Die Filtration ist oft mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Häufig werden mit Erfolg Faltenfilter No. 602 von C. Schleicher und Schüll in Düren für diesen Zweck verwendet. Das Filtrat wird in einer gewogenen Platinschale eingedampft, schwach geglüht und gewogen. Der Rückstand wird alsdann qualitativ analysiert.

Kalkstein: Ca. 1 gr des Kalksteinpulvers wird abgewogen und in verdünnter Salzsäure unter Vermeidung des Verspritzens gelöst. Ein allfällig zurückbleibender unlöslicher Rest wird abfiltriert, gut gewaschen, samt Filter verbrannt, gewogen und als Sand in Rechnung gestellt. Das Filtrat wird auf 250 cc gebracht und damit verfahren wie früher angegeben (S. 23). Ist die Quantität von $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ eine ganz geringe, so unterlässt man, eine Eisenbestimmung auszuführen.

Bestimmung der Kohlensäure. Für die Bestimmung der Kohlensäure benützt man in diesem Falle am besten den Apparat von Fresenius-Classen; doch lässt sich ganz gut auch der Apparat von Lunge-Marchlewsky verwenden, wenn man folgendermassen verfährt. Als Einwage an trockener Substanz werden 0,4915 gr gewählt; dann ist 1 cc absorbierter Kohlensäure = 0,4 % CO_2. Die Menge des Aluminiumdrahtes betrage 0,02 gr, d. i. $^1/_4$ der sonst üblichen Quantität. Die Ausführung der Bestimmung ist die gleiche wie früher (S. 21) angegeben wurde.

Durch diese Wahl der Einwagen hat man Folgendes erreicht: Die Menge des entwickelten Wasserstoffes beträgt nur 25 cc. Bei Kalkstein kann bei obiger Einwage die Menge der Kohlensäure maximal 110 cc betragen. Die erste Ablesung fällt daher in die kalibrierte Röhre unterhalb der Messrohrkugel, wogegen nach Absorption der Kohlensäure die Ablesung in den oberen Messrohrteil fällt. Die Entwicklung von nur 25 cc Wasserstoff genügt zur Austreibung der Kohlensäure aus der Flüssigkeit.

Gyps: Der Gyps verliert sein Wasser teilweise schon bei 110 bis 120° C, bei starkem Glühen auf dem Gebläse entweicht auch Schwefelsäureanhydrid; man muss somit bei der Bestimmung des Glühverlustes diesem Umstand Rechnung tragen. Wir verfahren hiebei so, dass der Tiegelboden nicht mehr als bis zur Dunkelrotglut erhitzt wird. Nach 15 Minuten ist alles Wasser vertrieben.

Beim Auflösen des Gypses verfährt man in folgender Weise: Man digeriert mit concentrierter Salzsäure auf dem Wasserbade, verdünnt hierauf mit heissem Wasser und, falls noch ein Rest zurückgeblieben ist, filtriert man ab und wäscht mit salzsäurehaltigem, heissem Wasser so lange aus, bis das Filtrat keine Fällung mehr mit Bariumchlorid gibt. Das Filter wird feucht im gewogenen Platintiegel verbrannt und der Rest als Sand berechnet.

In der Lösung werden die weitern Bestimmungen in der früher beschriebenen Weise ausgeführt (vgl. S. 23).

ϑ. Xylolith und verwandte Materialien.

2 gr des Materials werden mit verdünnter Salzsäure auf dem Wasserbade behandelt. Unlöslich bleiben Holzsubstanz, Sand und Thon. Diese werden auf einem bei 110° getrockneten Filter abfiltriert, mit verdünnter Salzsäure und schliesslich mit heissem Wasser gut gewaschen. Man trocknet wieder bei 110° bis zu konstantem Gewicht. Holzsubstanz, Thon und Sand werden zusammen bestimmt. Das Filtrat wird abgedampft und SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, SO_3 bestimmt wie S. 23 u. f. angegeben. Die Bestimmung der Kohlensäure wird nach Lunge-Marchlewsky ausgeführt (S. 21).

Zur Bestimmung der *Alkalien* verfährt man so, dass man den Xylolith löst wie vorstehend angegeben und nach Entfernung der Kieselsäure die Lösung mit Ätzbarytlösung fällt und weiter verfährt wie bei der Alkalibestimmung auf S. 25 angegeben.

Das *Wasser* ist teils als Feuchtigkeit, teils in gebundenem Zustande vorhanden. Die Feuchtigkeit wird nach S. 18 bestimmt. Temperatur 105—110°. Das gebundene Wasser kann nicht durch höheres Erhitzen entfernt werden, ohne dass Anteile der Holzsubstanz sich verflüchtigen würden. Es wird daher nach der Bestimmung aller Stoffe der Rest bis auf 100% als gebundenes Wasser angegeben.

Zur Bestimmung des Chlors wird eine Probe des Materials in stark verdünnter Salpetersäure bei gelinder Wärme gelöst, filtriert und ohne einzudampfen die Lösung mit Silbernitrat in geringem Überschuss unter starkem Umrühren versetzt. Man erhitzt zum Kochen und lässt 1 Stunde an einem warmen Orte, 3 Stunden kalt stehen. Man filtriert und wäscht mit kaltem Wasser, bis das Filtrat keine Reaktion mehr auf Silber zeigt. Der Niederschlag wird hierauf getrocknet, soviel als möglich davon in einen gewogenen Porzellantiegel gebracht, das Filter in der Platinspirale verascht, die Asche zum Niederschlag gefügt und mit 3 Tropfen Salpetersäure und 2 Tropfen Salzsäure befeuchtet. Man dampft vorsichtig zur Trockne ab, erhitzt bis zum Schmelzen des Silberchlorids und wägt nach dem Erkalten im Exsiccator. Man berechnet auf Chlor und Magnesiumchlorid. Von dem Gesamtmagnesiagehalt wird die dem $MgCl_2$ entsprechende MgO-Menge abgezogen.

ε. Berechnung der Analysen.

Aus den bei der Analyse gefundenen Zahlen wird die Zusammensetzung des untersuchten Materials in folgender Weise berechnet:

Die für SO_3 gefundene Zahl wird auf $CaSO_4$, die für CO_2 gefundene auf $CaCO_3$ umgerechnet und die dem $CaSO_4$ und $CaCO_3$ entsprechenden CaO-Mengen vom Gesamtkalkgehalt abgezogen. Ist nicht so viel CaO vorhanden, dass die gesamte CO_2 auf $CaCO_3$ gerechnet werden kann, so wird der Rest der CO_2-Menge auf $MgCO_3$ berechnet und die letzterem entsprechende MgO-Menge vom Gesamt-MgO-Gehalt abgezogen. Eventuell noch frei bleibender CaO- und MgO-Gehalt wird als solcher in Rechnung gestellt.

Wurde die direkte Bestimmung der Alkalien nicht ausgeführt und ist die Summe der bei der Analyse gefundenen Bestandteile kleiner als 100, so wird die Differenz als Alkalien in Rechnung gebracht.

2. Die physikalischen Untersuchungsmethoden.

α. Geologisches Alter und die petrographische Beschreibung der natürlichen Bausteine.

Das geologische Alter natürlicher Bausteine wird an Hand einer geologischen Karte der Fundstätte des Materials bestimmt. In Fällen, wo dies nicht möglich ist und es die Abklärung der obwaltenden Verhältnisse fordert, entsendet die Materialprüfungs-Anstalt zur Feststellung des geologischen Alters und Aufnahme der erforderlichen Profile des Lagers einen kompetenten Geologen an Ort und Stelle.

Die petrographische Beschreibung des Steinmaterials erfolgt in Hinsicht auf Strukturverhältnisse, Form, Grösse und äussere Beschaffenheit der einzelnen Mineralkomponenten zusammengesetzter Gesteinsarten, sowie in Hinsicht auf die Farbe und sonstige äussere Merkmale. In der Regel genügt hierzu die Besichtigung der vorgelegten Muster mit unbewaffnetem Auge; sie erfolgt oft mittelst Lupe, in besonderen Fällen werden Dünnschliffe angefertigt und diese mikroskopisch untersucht, mitunter auch mikrophotographisch fixiert.

β. Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit und Strukturverhältnisse der künstlichen Bausteine.

Die Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit künstlicher Bausteine bezieht sich auf:

die *allgemeine Form, Abmessungen, Farbe* und *Klang,* sowie auf die *Strukturbeschaffenheit* frischer Bruchflächen von Bruchstücken oder Scherben.

Zur Kennzeichnung der allgemeinen *Form* wird die Beschaffenheit der Kanten, der Flächen, der Fälze geprüft und beschrieben.

Die *Abmessungen* der künstlichen Bausteine werden durch stückweises Ausmessen, also durch Feststellung der Breite, Dicke und Länge der Steine, Tiefe der Fälze, durch Feststellung der wirksamen Breite und Länge, der Deckkraft bei Falzziegeln, bestimmt. Bei *Verblendern* werden neben den *Durchschnittswerten* auch die *Grösst-* und *Kleinstwerte* der Abmessungen, bei allen andern Steinsorten, sowie bei Dachziegeln, lediglich bloss die Mittelwerte der Abmessungen angegeben.

Die *Strukturverhältnisse* der Oberflächen stimmen mit jenen der frischen Anbruchflächen nicht überein; es werden daher beide mit unbewaffnetem Auge geprüft und beschrieben.

Zur Bestimmung der *Farbtöne* unglasierter, künstlicher Bausteine dient die von den Herren Professoren *Bluntschli, Graf* und *Lasius* aufgestellte Farbenskala. Die Bezeichnung und Benennung eines Farbtons ist stets mit Schwierigkeiten verbunden. Einmal sind für ein und denselben Farbton verschiedenartige Bezeichnungen gebräuchlich, anderseits kommt eine derartige Mannigfaltigkeit der Farbnüancen vor, dass es wünschenswert schien zur naturgetreuen Wiedergabe bestimmter Farbtöne und zur einheitlichen Bezeichnung typischer Farbnüancen sichere Mittel und Wege zu schaffen. Weil es in erster Linie der Architekt ist, der mit der Farbenwirkung seiner Bauwerke zu rechnen und zu arbeiten berufen ist, haben wir die Frage der Aufstellung einer einheitlichen Farbenskala für unglasierte, künstliche Bausteine und Dachziegel den vorstehend genannten Professoren der Bauschule des schweiz. Polytechnikums zur Begutachtung vorgelegt. Das Resultat der Bemühungen dieser Herren gipfelt in der Aufstellung der auf Blatt I, II, III und IV wiedergegebenen *Farbenskala,* zu welcher Prof. *G. Lasius* die Güte hatte, folgenden erläuternden Bericht beizugeben:

»In der Thonwaren-Industrie spielt, besonders bei Herstellung von Ziegeln und Platten, die Farbennüance des Fabrikates eine wesentliche Rolle und doch besteht bis jetzt der grosse Übelstand, dass diese Farbenbezeichnung nicht nach einer bestimmten Norm geordnet ist, es daher sehr schwer fällt, sich über Farbennüancierung zu verständigen. Es dürfte daher eine einheitliche Farbenbezeichnung grosse Erleichterung gewähren.

Es wird nun der Versuch gemacht, in der hier auf 4 Tafeln dargestellten Farbenskala diesem Übelstande abzuhelfen. Die abgebildeten Töne können leicht, wenn sie nicht genügen sollten, um weitere vermehrt werden, dürften aber für die Einführung des Verfahrens wohl ausreichen.

Die gewählten Benennungen der einzelnen Töne leuchten vielleicht auf den ersten Blick nicht Jedem so ein, wie er es wünschen möchte; darin liegt aber auch nicht das Wesentliche unseres Vorschlages, der vielmehr darin besteht: jeden bezeichneten Ton der Skala, der in den lithographierten Tafeln nur bildlich dargestellt ist, auch jeden Augenblick durch ein sicheres Verfahren treffend herstellen zu können. Dies ist schon deshalb notwendig, weil ja eine solche Farbentafel durch Licht, Staub und Gebrauch ihre Frische und damit auch ihren Wert verlieren würde.

Die Herstellung der einzelnen Farbtöne kann nun in folgender Weise geschehen:

Die Pastellmalerei besitzt eine grosse Zahl von Farbtönen in Kreidestiften, die sich auf einer nichtglatten Fläche leicht abreiben lassen. Diese Stifte sind so angeordnet, dass jeder Hauptton in eine Anzahl Nebentöne zerfällt, die sowohl nach hell wie nach dunkel vom Grundton abweichen und durch Mischung des Haupttones, einerseits mit weiss, andererseits mit schwarz, entstanden sind. Diese Töne sind genau bestimmt, jeder führt eine feste Nummer. Für unser Verfahren wurden die Pastellstifte der Firma Müller & Henning in Dresden zu Grunde gelegt, deren Auswahl 400 Nummern umfasst. Gesetzt nun, es wäre für irgend ein vorliegendes Ziegelmuster dessen Farbennüance zu bestimmen, so zeigt der Vergleich mit der Tafel 1—4 entweder den zutreffenden Ton oder einen naheliegenden. Wir haben z. B. ein Muster von Siegersdorf in der Hand, das dem Hausrot I No. 6 auf

Tafel I am meisten entspricht aber etwas lichter erscheint. Die beigelegte Tabelle zeigt uns, wie der Ton No. 6 entstanden ist; er ist ein Gemisch aus Englischrot und Umbra. Wir finden nun unter den Pastellstiften Englischrot No. 45 und Umbra No. 95, da unser Muster aber etwas lichter erscheint, also mehr weiss enthalten wird, so wählen wir zum gleichen Ton Englischrot 45, eine lichtere Nüance Umbra, etwa No. 96. Indem wir die beiden Stifte anstreichen und mit der Fingerspitze leicht zusammenreiben, erhalten wir eine Mischung, die zutrifft, und sind so über die Nüance unseres Musters genau orientiert.

Durch Mischen von 2 vorhandenen Tönen wird bei der Reichhaltigkeit der Stiftauswahl die Bestimmung bei einiger Übung leicht möglich sein.

Um genau vergleichen zu können, verfährt man am besten so: Man sucht zumMusterstück unter den Pastellstiften den am besten passenden Farbton aus, streicht mit demselben an einer kleinen Stelle das Musterstück an und verreibt leicht mit der Fingerspitze. Je nach der Beleuchtung kann nun der Ton zum Muster etwas verschieden erscheinen, man merkt sich die Lage, in der sich die kleinste Differenz ergiebt und beurteilt nun nach welcher Nüancierung dieser Ton zu verändern ist, ob wärmer oder kälter, heller oder dunkler im Ton die Veränderung stattzufinden hat, sucht nach diesem Gefühl einen passenden Stift, reibt von diesem etwas in die gemachte Probe und mischt mit der Fingerspitze, bis Übereinstimmung erzielt ist.

So wurde z. B. No. 9 Tafel I Ziegelrot dunkel aus Englischrot No. 45 Pastell und gebranntem Goldocker No. 66 Pastell gefunden, das hellere Ziegelrot II No. 10 aus Mischung von Englischrot No. 46 Pastell und gebranntem Goldocker No. 67 Pastell, den beiden nächsten helleren Nüancen der vorhergehenden No. 9. Diese Mischung hätte sich aber auch finden lassen aus No. 45 + Nr. 66 + Weiss, weil die Töne 46 und 67 beide nur durch Weiss aus den Nummern 45 und 66 aufgehellt wurden. Bei der Probe ist aber das Mischen von 2 Tönen leichter auszuführen als das von 3 Tönen. Für unsere sämtlichen Töne auf den 4 Tafeln sind nur 12 Grundtöne, ferner Weiss und Schwarz nötig. Es ist aber für die Untersuchung eine grosse Erleichterung, schon hellere und dunklere Abmischungen der Grundtöne zur Verfügung zu haben und so benutzten wir im ganzen 35 bestimmt

nummerierte Pastellstifte. Nun besteht aber bei diesem eben geschilderten Verfahren, eine bestimmte Nüance aufzufinden, doch eine Schwierigkeit, nämlich:

Durch Mischen von 2 bestimmten Tönen lassen sich je nach der Quantität des einen oder andern eine grosse Zahl von Nüancierungen herstellen; es entsteht also eine gewisse Unsicherheit je nach der mehr oder minder grossen Übung des Beobachters. Dies kann nun leicht vermieden werden, wenn in der Pastellfarbenfabrik nach demselben Original, nach dem die Tafeln lithographiert wurden, für jede Nummer der betreffende Ton als ein besonderer Pastellstift hergestellt wird. So viele Töne — so viele Stifte. Ein einfaches Anstreichen und Verreiben mit der Fingerspitze giebt dann mit voller Sicherheit den Ton der Tafel. Kommt noch ein schwarzer und ein weisser Stift hinzu, so sind damit denn auch hellere und dunklere Abstimmungen möglich. Ein Etui nähme diese Anzahl Stifte, etwa 40 Stück, auf (der Preis der vorhandenen Stifte beträgt pro Stück 10 Pfennig). So würde ein solches Sortiment für Fabrikant wie Konsument eine grosse Erleichterung bilden und die gestellte Aufgabe dürfte sich so befriedigend lösen lassen.

Die angefügte Tabelle giebt für jeden Farbton unserer Tafeln neben der vorgeschlagenen Bezeichnung die Nummern und Namen der erwähnten Pastellstifte und weiter die Herkunft des zu Grunde gelegten Musterstückes.«

Tabelle

zur Erläuterung der Normal-Farbtafel für Ziegelfarben.

№	Vorgeschlagene Bezeichnung des Farbtones	Pastellstifte von Müller & Hennig	
		Nummern	Bezeichnung des Farbstoffes nach deren Katalog
1	Schwarz	262	Schwarzblau
2	Schwarzbraun	232	Caput mortuum
3	Violetbraun	225+45	Capt. mort. hell u. Engl. Rot
4	Dunkelgelbbraun	71+72	gebrannter Dunkelocker
5	Braunrot	44	Englischrot dunkel
6	Hausrot I	45+95	Englischrot u. Umbra
7	Hausrot II	45+68	Englischrot u. gebr. Goldocker
8	Hausrot III	46+195	Englischrot u. Goldocker

№	Vorgeschlagene Bezeichnung des Farbtones	Pastellstifte von Müller & Hennig Nummern	Bezeichnung des Farbstoffes nach deren Katalog
9	Ziegelrot I, dunkel	45+66	Englischrot u. gebr. Goldocker
10	Ziegelrot II	46+67	Englischrot u. gebr. Goldocker
11	Ziegelrot III, feurig	66	gebr. Goldocker hell
12	Ziegelrot IV, leucht.	66+147	gebr. Goldocker u. hell Saturn
13	Rostfarbig	66+74	gebr. Goldocker u. Dunkelocker
14	Lederfarbig I, dunkel	85+86	gebr. lichter Ocker
15	Lederfarbig II	86+87	gebr. lichter Ocker
16	Lederfarb. III, stumpf	86+235	gebr. lichter Ocker u. Grüngrau
17	Lederfarbig IV, hell	68+78	gebr. D'Ocker u. gebr. Goldocker
18	Fleischfarbig I	85+48	gebr. Lichtocker u. Englischrot
19	Fleischfarbig II	86+48	gebr. Lichtocker u. Englischrot
20	Orange I	68	gebr. Goldocker
21	Orange II	68+69	gebr. Goldocker
22	Orange III	69+70	gebr. Goldocker
23	Orange IV	75	gebr. Dunkelocker heller
24	Orange V	77	gebr. Dunkelocker heller
25	Goldocker I	76+196	gebr. Dunkelocker u. Goldocker
26	Goldocker II	77+197	gebr. D'Ocker u. Goldocker heller
27	Goldocker III	78+197	gebr. D'Ocker u. Goldocker heller
28	Goldocker IV	197	Goldocker hell
29	Ocker I, dunkel	198+395	Goldocker u. stumpfer Ocker
30	Ocker II, normal	197+396	Goldocker u. Stumpfocker
31	Ocker III, hell	$\frac{197}{198}$+397	Goldocker u. Stumpfocker
32	Ocker IV, blass	198+399	Goldocker u. Stumpfocker
33	Holzfarbe I	77+397	gebr. D'Ocker u. Stumpfocker
34	Holzfarbe II	77+399	gebr. D'Ocker u. Stumpfocker
35	Gelb	197+299	Goldocker hell u. grüne Erde hell
36	Weissgelb	199+300	Goldock. u. grüne Erde beide hell
37	Stumpfocker I	397	Stumpfer Ocker hell
38	Stumpfocker II	398	Stumpfer Ocker heller
39	Stumpfocker III	399+400	Stumpfer Ocker ganz hell
40	Weiss	279+280	Grauweiss

Seit dem Jahre 1895/96 benützt die schweiz. Materialprüfungs-Anstalt die vorstehend erläuterte *Farbenskala;* auf dieser nicht enthaltene Farbtöne werden durch Angabe der verwandten, den zu bezeichnenden Farbton eingrenzenden Farbnüancen der Skala gekennzeichnet.

Was schliesslich die *Klangfarbe* der künstlichen Bausteine und Dachziegel betrifft, so wird diese durch Anschlagen der frei

schwebenden Steine und Ziegel mittelst eines leichten Hammers bestimmt; nach subjektiver Auffassung unterscheiden wir »dumpfen«, »mässig hellen«, »ziemlich hellen« und »hellen Klang.«

γ. Bestimmung der Gewichtsverhältnisse.

Wir unterscheiden:

das *Stückgewicht;* das *specifische Gewicht;* das *Raumgewicht.*

Das Stückgewicht wird bei künstlichen Bausteinen, Dachziegeln, Belagsplatten durch Wägung von 10 Stück gleichartiger Muster erhoben. Das Durchschnittsgewicht, ausgedrückt in kg, gilt als das massgebende Stückgewicht.

Das *specifische Gewicht* (γ) eines Materials ist das Gewicht der Kubikeinheit seiner Masse, also der porenfreien Substanz. Es ist eine veränderliche, von der geographischen Lage der Beobachtungsstelle abhängige Grösse, die wir an nach einheitlichem Verfahren gepulvertem Materiale mittelst geeignetem Volumometer bestimmen und nach Konvenienz in gr/cm^3, kg/dm^3 oder t/m^3 ausdrücken.

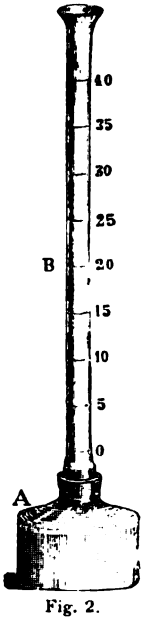


Fig. 2.

Das zu untersuchende Material wird zunächst bis zum konstanten Gewicht getrocknet, hierauf gepulvert und auf dem 900ter und 4900ter Maschensieb abgesiebt. Das zwischen den Normalsieben verbleibende, unter Luftabschluss aufbewahrte Mehl gelangt zur Verwendung.

Fig. 3.

Als Volumometer werden die in Fig. 2 und 3 abgebildeten Apparate von *Schumann* oder Dr. *Erdmenger-Mann,* ausnahmsweise die in Fig. 5 abgebildeten *Pyknometer* verwendet.

Das *Schumann*'sche Volumometer ist eine Nachbildung des *Michaëlis*'schen, welches zur Aufnahme der zu prüfenden Substanz

ein metallisches Gefäss bestimmten Inhalts besitzt. Fig. 2 stellt das Schumann'sche Volumometer dar. Der Apparat besteht aus einem gläsernen Gefäss und einem in dessen Hals sorgfältig eingeschliffenen, in $^1/_{10}$ cm^3 geteilten Messrohr mit trichterförmigem Ende. Vor dem Versuche wird die Messröhre angemessen kräftig in den Hals des Gefässes eingedreht, bis zu einer beliebigen Marke mit Terpentinöl gefüllt und mit einem Kork geschlossen.

Vor jedem Versuche liest man den Stand der Flüssigkeitssäule ab, lässt sodann vorsichtig 50—100 gr der zu prüfenden Substanz durch das Messrohr in das Gefäss gleiten, spült anhaftende Partikelchen hinunter, verschliesst das Messrohr, lässt absitzen und liest so bald wie möglich und nachdem die mitgerissene Luft entwichen, den neuen Stand der Flüssigkeitssäule ab. Die Differenz der Ablesungen giebt in cm^3 das Volumen V der eingefüllten Substanz; das gesuchte, specifische Gewicht berechnet sich aus:

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

wo G in gr das Gewicht der Probe bedeutet.

Bei der Ausführung der Probe ist darauf zu achten, dass die *Substanz,* der *Apparat* sowie das verwendete *Terpentinöl* gleiche Temperatur, ca. 15° C besitzen;

während *dem Einbringen* der Probe weder ein Substanz- noch ein Ölverlust eintritt;

das *Messrohr* beim *Einfüllen* der Substanz sich nicht verstopft. Sollte eine kleine Menge hängen bleiben, so löse man sie durch leichtes Aufklopfen von den Wandungen ab, oder spüle sie vorsichtig ins Gefäss.

In Fig. 3 ist das Dr. Erdmenger-Mann'sche Volumometer abgebildet. Wie aus der Abbildung ersichtlich, besteht der Apparat aus einer in $^1/_{10}$ cm^3 geteilten Röhre von 50 cm^3 Inhalt, die oben und unten in einen Mantel (Kühler) eingeschmolzen ist; das obere offene Ende der Röhre ist zur Abhaltung von Staub mit einer Glaskappe lose bedeckt; am unteren Ende geht die Röhre in einen senkrecht stehenden Geissler'schen Hahn über. Ausserdem befindet sich kurz über dem Ausflusshahn seitlich angeschmolzen ein Zuflussrohr mit Glashahn. Der Kühler hat oben zwei Öffnungen, die eine zum Entweichen bezw. Eintreten

der Luft beim Füllen oder Ablassen des Wassers desselben; durch die zweite Öffnung kann ein kleines Thermometer geführt werden, um die Temperatur des Kühlwassers stetig zu beobachten. Zum Füllen bezw. Ablassen des Wassers dient ein am Kühler seitlich angeschmolzenes Rohr mit Geissler'schem Glashahn. Seitlich am Kühler angebracht erscheint auch das Zuflussrohr der Messröhre; dasselbe ist durch eine kurze Kautschukverbindung mit einer rechtwinklig gebogenen Glasröhre verbunden, die mit eingeschliffenem Gasstopfen, durch den einen Hals einer Woulff'schen Flasche geht und bis auf deren Boden reicht; der zweite Hals der Flasche, mit einer kurzen, rechtwinklig gebogenen Glasröhre mit eingeschliffenem Stopfen verschlossen, steht mit einem Gummidruckballon in Verbindung. Der Inhalt der Woulff'schen Flasche beträgt ca. 1 Liter.

Der aufrecht stehende Kühler wird getragen durch die kräftige Klammer eines eisernen Stativs; zur Ablesung befindet sich in der Messröhre ein Schwimmer mit Marke.

Die eigentliche Bestimmung wird ausgeführt in kleinen, möglichst eng- und kurzhalsigen, aus starkem Glase gefertigten Kölbchen von 50 cm^3 Inhalt, die während des Versuches in ein Gefäss mit Wasser gestellt werden, dessen Temperatur die gleiche ist, wie die des Kühlwassers. Als Flüssigkeit dient je nach Beschaffenheit des Materials destilliertes Wasser oder Terpentinöl.

Vor der Ausführung des Versuches wird der mit Flüssigkeit gefüllte Apparat, sowie das Messkölbchen auf gleiche Temperatur, auf ca. 15° C gebracht. Es werden nun ca. 50 gr der zu prüfenden Substanz abgewogen und das Niveau der Flüssigkeitssäule auf 50 cm^3 gestellt. Man lässt hierauf ca. 20 cm^3 Terpentinöl aus der Röhre in das Messkölbchen fliessen, und bringt in dasselbe vorsichtig die abgewogene Menge der Substanz, am besten mittelst eines kleinen Trichters, ein. Die Substanz wird auf diese Weise schneller mit der Flüssigkeit benetzt, und die mitgerissene Luft rascher ausgestossen, was durch vorsichtiges Umschwenken des Kolbens vollkommen erreicht werden kann. Unmittelbar nachdem die Flüssigkeit bis zur Marke ins Messkölbchen zugelassen wurde, ist der Stand der Flüssigkeitssäule im Rohre abzulesen. Das Volumen der im Messrohre zurückgebliebenen Flüssigkeit entspricht V, dem Volumen der eingewogenen Probe. Als Quotient aus dem Gewichte der Probe in gr und dessen

Volumen in cm^3, resultiert nach wie vor das gesuchte *specifische Gewicht.*

Das *Raumgewicht* (Gewicht der Kubikeinheit des Materials einschliesslich seiner Poren und Hohlräume) wird bei *Steinen regelmässiger Gestalt,* ferner bei löchrigen Tuffgesteinen und andern natürlichen und künstlichen Bausteinen mit grossen Porenhohlräumen aus dem Trockengewicht der Muster und ihren geometrischen Abmessungen ermittelt. Die Muster werden bis zum konstanten Gewicht getrocknet, ausgemessen und ihr Volumen berechnet. Der Quotient des Gewichtes durch das Volumen der Probe giebt das gesuchte Raumgewicht:

$$\delta = \frac{G}{V}$$

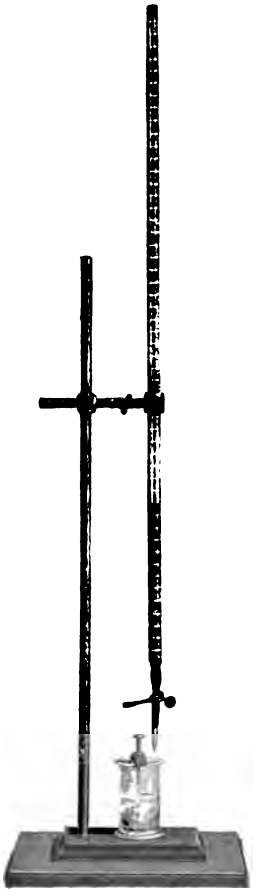


Fig. 4.

Bei *unregelmässigen* Bruchstücken natürlicher kompakter Bausteine und Dachziegel benutzen wir zur Volumenbestimmung unsere Paraffin-Umhüllungsmethode. Das Verfahren hierbei ist folgendes: Die bei ca. 100° C bis zum konstanten Gewicht getrocknete Probe von ca. 8 bis 12 cm^3 wird zunächst von lose anhaftenden Partikelchen befreit, gewogen, durch rasches Eintauchen in flüssiges Paraffin mit ca. 1—2 mm dicker Paraffinschicht umhüllt, wobei eingeschlossene Luftbläschen mittelst eines warmen Eisenstiftes entfernt werden. Der paraffinumhüllte, auf Lufttemperatur abgekühlte Probekörper wird abermals gewogen und als Gewichtsdifferenz das Paraffingewicht G_p bestimmt. Da das specifische Gewicht des Paraffins bei gewöhnlicher Lufttemperatur (ca. 15° C) 0,93 beträgt, so ergiebt sich das Paraffinvolumen zu:

$$V_p = \frac{G_p}{0{,}93}$$

Nun wird das Gesamtvolumen V_g der Probe mit ihrer Paraffin-Umhüllung ermittelt. Wir benutzten hiezu seit 1882 das

in Fig. 4 abgebildete Volumometer. Dasselbe besteht aus einem Stativ, einer in $^1/_{10}$ cm^3 geteilten Burette, endlich aus einem dickwandigen Glascylinder, dessen oberer Rand geschliffen ist und dessen Inhalt bis zur Nadelspitze einem bestimmten Werte entspricht. Die Burette wird mit luftfreiem Wasser gefüllt und der Inhalt des mittelst Libelle horizontal gestellten Messcylinders durch einen blinden Versuch kontrolliert. Hierauf wird das Massgefäss getrocknet, die Probe in dasselbe eingeführt und aus der Burette so lange, schliesslich tropfenweise Wasser zufliessen gelassen, bis das Wasserniveau die Nadelspitze erreicht. Beobachtet man die Lage des Spiegelbildes der Nadelspitze im Wasser, so lässt sich der Moment der Berührung der Nadelspitze und des Wasserniveaus recht genau bestimmen. Als Differenz des Volumens des Messcylinders und der verbrauchten Wassermenge geht das gesuchte Gesamtvolumen der Probe hervor.

Das Volumen der Probe ohne Paraffin-Umhüllung ist sodann

$$V = V_g - V_p ,$$

das gesuchte *Raumgewicht* der Probe schliesslich:

$$\delta = \frac{G}{V} = \frac{G}{V_g - V_p}$$

Bei Bestimmung des Raumgewichtes kompakter, Wasser nicht aufsaugender Materialien, z. B. dichter Kalksteine, granitartiger Gesteine, Dachschiefer u. d. m., gelangt zur Volumenbestimmung mit Vorteil die hydrostatische Wage zur Anwendung.

δ. Bestimmung der Dichte.

Unter *Dichte* eines Materials versteht man die für jeden Punkt der Erdoberfläche konstante, *unbenannte* Zahl, welche sich aus dem Verhältnisse des Gewichtes der zu prüfenden Substanz zum Gewichte des Wassers von gleichem Volumen ergiebt. Wir unterscheiden

die *absolute* von der *scheinbaren* Dichte.

Erstere wird an dem, zur specifischen Gewichtsbestimmung bereiteten Mehle der Substanz im Pyknometer, letztere an Bruchstücken des Materials an Hand einer hydrostatischen Wage bestimmt.

Zur Bestimmung der *absoluten* Dichte beträgt die Einwage G_s ca. 20 gr; als Flüssigkeit dient destilliertes Wasser, oder bei

Prüfung von Stoffen, die selbst löslich sind, oder lösliche Substanzen enthalten, eine indifferente Flüssigkeit (Alkohol, Terpentinöl etc.) von bekannter Dichte.

Man wägt zuerst das leere, trockene Pyknometer, füllt es hierauf mit destilliertem Wasser von 15° C, setzt den Stöpsel so auf, dass das verdrängte Wasser durch die Kapillare ausfliesst, im Gefässe keine Luftblasen zurückbleiben und wägt wieder. Die Gewichtsdifferenz ergiebt das Vollgewicht (G_w) des Wassers bei 15° C.

Man entleert hierauf das Pyknometer bis zur Hälfte, wägt dasselbe, bringt die in Aussicht genommene Probe des zu prüfenden Pulvers ein und wägt wieder. Die Differenz giebt das Gewicht der Substanz (G_s).

Man schwenkt nun das Kölbchen so lange, bis keine Luftblasen mehr entweichen, füllt es mit destilliertem Wasser von 15° C auf und lässt die Temperatur sich ausgleichen. Hat sich das Pulver abgesetzt, so setzt man die Kapillare ein und achtet wieder darauf, dass keine Luftblasen im Gefässe hängen bleiben, trocknet das Pyknometer und wägt es ab.

Fig. 5.

Ist G das Gewicht der Substanz + Wasser im Pyknometer, so erhält man die gesuchte *Dichte* des Materials aus der Formel:

$$\gamma = \frac{G_s}{G_w + G_s - G}$$

Zur Bestimmung der *scheinbaren Dichte* gelangen die hydrostatische Wage und Bruchstücke des Materials von ca. 8 bis 12 cm^3 Volumen zur Anwendung. Letztere werden mittelst dünnem Platindraht von bekanntem Gewicht und Volumen auf den einen Arm einer chemisch-analytischen Wage gehängt,

sodann an der Luft und im Wasser oder einer indifferenten Flüssigkeit von bekannter Dichte gewogen. Aus dem Gewicht des Körpers und jenem des verdrängten Wassers berechnet sich die *scheinbare Dichte* des Materials (einschliesslich der Poren).

ε. Bestimmung der Porosität.

Wir unterscheiden:

1. die *absolute Porosität,* von
2. der *scheinbaren Porosität*

und drücken beide in Prozenten des zu prüfenden Körpervolumens aus.

Die *absolute Porosität* wird aus dem Volumen der Probe oder den bekannten Gewichtsverhältnissen des Materials berechnet. Bezeichnet nämlich:

V das Volumen des Körpers einschliesslich seiner Poren,

V_0 das Volumen des Materials vom gleichen Gewicht ohne Poren; ferner

δ das Raumgewicht des Materials,

γ das specifische Gewicht des Materials,

so ergiebt sich das *prozentuale Mass der absoluten Porosität* ohne weiteres aus:

$$n = 100 \frac{V - V_0}{V} = 100 \frac{\gamma - \delta}{\gamma}.$$

Die *scheinbare Porosität* wird aus der Fähigkeit der Wasseraufnahme ermittelt; die Methode der Bestimmung der Wasseraufnahmsfähigkeit, vergl. unter lit. η. Bezeichnet:

G das Trockengewicht der Probe, deren scheinbare Porosität zu bestimmen ist,

δ das Raumgewicht des Materials,

G_w das Gewicht des aufgenommenen Wassers $= V_w$, dem korrespondierenden Volumen Wassers,

so erhält man die gesuchte *scheinbare Porosität* der Probe aus:

$$n = 100 \frac{V_w \delta}{G}.$$

Die vorstehend angeführte, in der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt eingebürgerte Methode der Bestimmung der absoluten Porosität wurde durch Herrn Privatdozent Dr. *Kopp* im physi-

kalischen Institute des schweiz. Polytechnikums einer eingehenden Untersuchung unterworfen. Herr Dr. *Kopp* hatte hierüber folgenden Bericht erstattet:

»Herr Prof. Tetmajer hatte bei der Bestimmung der Porosität eines Ziegelsteines nach einem von ihm befolgten Verfahren unerwartet grosse Werte erhalten. Er veranlasste mich deshalb nachzusehen, ob irgend einige Fehler in den Apparaten oder der Methode überhaupt dieses Resultat ergaben.

Ich prüfte daher zunächst sein Volumometer auf die mit demselben erreichbare Genauigkeit. Sodann bestimmte ich die Dichte der von ihm benutzten Paraffinmasse und ebenso deren Schmelzpunkt, welch letzterer nur angenähert bekannt zu sein brauchte. Nachher wurde die Dichte des besagten Ziegelsteines erst nach der Durchtränkungsmethode mit möglichster Genauigkeit und Zuverlässigkeit ermittelt und dann verglichen mit jenen Werten die mir die Methode von Herrn Prof. Tetmajer bei aller möglichen Sorgfalt des Operierens ergeben hatte.

Zum Schlusse habe ich noch einige Worte über die Definition der Porosität gesagt und ihre Grösse für den untersuchten Ziegelstein berechnet.

1. Prüfung des Volumometers von Herrn Prof. Tetmajer.

Das Volumen einer Quarzkugel wurde mit äusserster Genauigkeit nach der Verdrängungsmethode auf der Wage bestimmt und dasselbe Volumen verglichen mit jenem, welches das besagte Volumometer ergab.

Bedeutet: M die Masse der Kugel,
Δ die Dichte » »
μ die Dichte des Massensatzes ($\mu = 8{,}8$),
λ die Dichte der Luft,
w die Dichte des Wassers,
76,316 die Anzahl Gramme, die in Luft gewogen, Gleichgewicht
47,699 » » » , » » Wasser » , »
mit der Kugel herstellten, so sind die genauen Gleichungen für die beiden Wägungen folgende:

$$76{,}316\left(1-\frac{\lambda}{\mu}\right)=M\left(1-\frac{\lambda}{\Delta}\right)$$

$$47{,}699\left(1-\frac{\lambda}{\mu}\right)=M\left(1-\frac{w}{\Delta}\right)$$

Die Dichte der Luft wurde nach der Gay-Lussac'schen Formel

$$\Delta = p \cdot \frac{0{,}001293}{76\,(1+0{,}00367\cdot t)},$$

wo p der herrschende Barometerstand, t die Temperatur in Graden bedeutet, berechnet und $= \lambda = 0{,}00116$ gefunden. Die Dichte des Wassers ($w = 0{,}999$) war für die betreffende Temperatur aus Tabellen entnommen. Führt man alle diese Werte in obige Gleichungen ein und bildet den Quotienten beider, so erhält man:

$$\frac{76{,}316}{47{,}699}=\frac{1-\frac{0{,}00116}{\Delta}}{1-\frac{0{,}999}{\Delta}} \quad \text{und daraus } \Delta = 2{,}662.$$

Mit Hülfe dieses Wertes von Δ berechnet sich aus der ersten Gleichung die Masse der Kugel

$$M=\frac{76{,}316\left(1-\frac{\lambda}{\mu}\right)}{1-\frac{\lambda}{\Delta}}=\frac{76{,}316\left(1-\frac{0{,}00116}{8{,}8}\right)}{1-\frac{0{,}00116}{2{,}662}}$$

$$M = 76{,}293.$$

Schliesslich liefert die Definitionsgleichung der Dichte:

$$M = V \cdot \Delta$$

das gesuchte Volumen V. Es wird

$$V=\frac{M}{\Delta}=\frac{76{,}293}{2{,}662}=28{,}66\ ccm$$

Das Volumometer ergab bei grosser Sorgfalt folgende Resultate:

I. Bei eingelegter Kugel:

88,0; 88,1; 88,2; 88,1; 88,1 im Mittel: 88,1 Skalenteile.

II. Ohne Kugel:

116,9; 116,8; 116,9; 116,9; 116,9 im Mittel: 116,9 Skalenteile.

Daraus das Volumen 28,8 ccm bei 15° C.

Daraus lässt sich folgern: Mit dem Volumometer lässt sich, bei nicht zu kleinen zu bestimmenden Volumen, bis mindestens $^1/_{500}$ genau beobachten. Der absolute Wert der Teilung ist ca. $^1/_2$ % zu gross bei mittlerer Zimmertemperatur (15° C). Für die bei diesen praktischen Versuchen verlangte Genauigkeit lässt sich demnach das Instrument mit Vorteil gebrauchen.

2. Bestimmung der Dichte der übergebenen Paraffinsorte.

Ein Stück Paraffin wurde mit der Quarzkugel verbunden, um dasselbe in Wasser wägen zu können. Nach derselben Methode wie vorhin ergab sich für die Dichte d des Paraffins:

d = 0,935 bei einer Temperatur von 10° C = $d_{10°}$
d = 0,903 » » » » 22,6° C = $d_{22,6°}$

Wählt man den Ansatz

$$d_{22,6°} = d_{10°} \cdot \frac{1}{1 + \gamma\,(22,6° - 10°)} = \frac{d_{10°}}{1 + 12,6\,\gamma}$$

so erhält man für die Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten γ, die Gleichung $0,903 = \frac{1}{1 + 12,6 \cdot \gamma} \cdot 0,935$. Daraus berechnet sich $\gamma = 0,00277$.

Demnach wird die Dichte für eine zur Verwendung kommende Temperatur t (zwischen 10°—23°) berechnet nach der Formel

$$d_{t°} = \frac{0,935}{1 + (t° - 10°)\,0,00277}.$$

3. Der Schmelzpunkt des Paraffins.

Die Schmelztemperatur des Paraffins wurde direkt mit einem genauen Thermometer, dessen Gefäss nur kleine Dimensionen hatte, bestimmt. In dem Momente wo dasselbe in der Paraffinmasse haften blieb zeigte es 54° C. Im Übrigen variiert aber die Temperatur in der im Erstarren begriffenen Paraffinmasse ganz bedeutend, infolge der schlechten Leitungsfähigkeit für Wärme. Die Variationen giengen bei meinen Versuchen bis zu 2° C; ein vollständiges Durcheinanderrühren war bei diesem halb erstarrten Zustand nicht mehr möglich.

4. Bestimmung der Dichte des Ziegelsteines.

Die erste Art der Bestimmung umfasste folgende Operationen:

1. Austrocknen des Steines.
   Auf einer Metallunterlage wurde der Stein erwärmt auf ziemlich hohe Temperatur und sodann in einem vollkommen trockenen Raum abgekühlt auf Zimmertemperatur.
2. Wägung in der Luft (Gleichung No. 1).
3. Durchtränken des Steins mit Wasser.
   Um dieses möglichst zu beschleunigen, wurde unter der Luftpumpe der Stein im Wasser gehalten, so dass durch Herstellung des Vakuums die Luft aus den Poren des Steines herausgesogen wurde und diese sich mit Wasser füllten.
4. Wägung des durchtränkten Steines in Luft (Gleichung No. 2).
5. Wägung des durchtränkten Steines in Wasser (Gleichung No. 3).

Bedeuten N_1, N_2, N_3 die Anzahl Gramme der 1., 2., 3. Wägung, ist M die Masse des Steines und m die Masse des eingesogenen Wassers und haben λ, μ, w, Δ die frühere Bedeutung, so sind die Gleichungen für die 3 Wägungen:

1. $N_1 \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) = M \left(1 - \frac{\lambda}{\Delta}\right)$

2. $N_2 \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) = M \left(1 - \frac{\lambda}{\Delta}\right) - m\left(1 - \frac{\lambda}{w}\right)$

3. $N_3 \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) = M\left(1 - \frac{w}{\Delta}\right)$

Daraus folgt der Reihe nach mit den praktisch zulässigen Vereinfachungen:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{1 - \frac{\lambda}{\Delta}}{1 - \frac{w}{\Delta}} = \frac{\Delta - \lambda}{\Delta - w} = \frac{\Delta}{\Delta - 1},$$

also mit grosser Annäherung $\Delta = \frac{N_1}{N_1 - N_3}$.

Aus 1. entnimmt man:

$$M = N_1 \frac{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)}{1 - \frac{\lambda}{\Delta}} = N_1 \frac{(\mu - \lambda)}{(\Delta - \lambda)} \cdot \frac{\Delta}{\mu} = N_1 \text{ weil } \lambda \text{ klein gegenüber } \Delta \text{ und } \mu.$$

Aus 2. entnimmt man:

$$m\left(1 - \frac{\lambda}{w}\right) = N_2\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) - M\left(1 - \frac{\lambda}{\Delta}\right)$$

$$m = N_2 \frac{\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)}{1 - \frac{\lambda}{w}} - M \frac{\left(1 - \frac{\lambda}{\Delta}\right)}{1 - \frac{\lambda}{w}}$$

$$m = N_2 \frac{\mu - \lambda}{w - \lambda} \cdot \frac{w}{\mu} - M \frac{\Delta - \lambda}{w - \lambda} \cdot \frac{\Delta}{w} = N_2 - M = N_2 - N_1$$

Bedeutet V das Volumen der Substanz
» v » » » Poren so ist

$$M = V\Delta$$

$$m = v\,w = v \text{ sehr nahe}$$

$$\frac{v}{V} = \frac{m}{M}\Delta = \frac{N_2 - N_1}{N_1} \cdot \frac{N_1}{N_1 - N_3} = \frac{N_2 - N_1}{N_1 - N_3} = \textit{Porosität.}$$

Es ist ferner V + v das ganze äussere Volumen und M die eingeschlossene Masse; bezeichnet also Δ_s *die scheinbare Dichte,* so ist:

$$\Delta_s = \frac{M}{V + v} = \frac{M}{\frac{M}{\Delta} + m} = \frac{M\Delta}{M + m\Delta}$$

$$\Delta_s = \frac{N_1 \cdot N_1}{N_1 - N_3} \cdot \frac{1}{N_1 + (N_2 - N_1)\frac{N_1}{N_1 - N_3}} = \frac{N_1}{N_2 - N_3}$$

Nach den angegebenen Formeln kann also die wahre und scheinbare Dichte leicht mit grosser Annäherung erhalten werden. Zunächst leuchtet ein, dass die *eingesogene Masse* eine Funktion der Zeit sein wird, in den ersten Stunden, nachher aber konstant bleibt. Es wurde deshalb zunächst untersucht, wie lange abzuwarten sei, um für diesen speziellen Körper konstante Resultate zu erhalten. Es zeigte sich

nach 4 Stunden:	N_1 = 28.580		
	N_3 = 17.502	J = 2.58	
	N_2 = 31.657	J_s = 2.02	
nach 28 Stunden:	N_1 = 28.580		
	N_3 = 17.725	J = 2.63	
	N_2 = 31.890	J_s = 2.02	
nach 48 Stunden:	N_1 = 28.580		
	N_3 = 17.769	J = 2.64	
	N_2 = 31.918	J_s = 2.02	
nach 72 Stunden:	N_1 = 28.580		
	N_3 = 17.804	J = 2.65	
	N_2 = 31.935	J_s = 2.02	

nach 90 Stunden war das Resultat ein so gut wie konstantes geworden J = 2.651

J_s = 2.016

Nach 8 Tagen wurde J = 2.653

J_s = 2.015

Nach 4 Wochen wurde J = 2.652

J_s = 2.017

Diese Resultate lassen erkennen, dass man schon nach 4 Tagen brauchbare Resultate erhält. Nun wurden an 5 verschiedenen Proben Bestimmungen gemacht, um nachzusehen, ob die Dichten von Exemplar zu Exemplar sich ändern. In der wahren Dichte wurden Abweichungen bis zu 1 %, in der scheinbaren Dichte Variationen bis zu 2 % beobachtet, wo ein Teil der Abweichung als Beobachtungsfehler zu betrachten ist. Die Mittelwerte je dreier Versuche für die 5 Proben waren folgende:

Probe 1	J = 2.634	J_s = 2.000
» 2	J = 2.652	J_s = 2.032
» 3	J = 2.655	J_s = 2.020
» 4	J = 2.650	J_s = 2.045
» 5	J = 2.639	J_s = 2.015

Es ist also

J = 2.65 in abgerundeter Zahl

J_s = 2.00 bis 2.05, welche kleine Differenz von zufälligen Löchern oder Rissen herrühren können.

Es wurden nun, nach der Methode der Umhüllung mit Paraffin, verschiedene Versuche durchgeführt um dieselben mit

den vorigen zuverlässigen Resultaten zu prüfen. Die ersten Versuche lieferten mir für die scheinbare Dichte bedeutend grössere Werte, was durch das Eindringen der flüssigen Paraffinmasse in einzelne Poren verursacht wurde.

Es empfiehlt sich daher den Körper vor dem Eintauchen in das heisse flüssige Paraffin, auf die Temperatur des flüssigen Paraffins zu erwärmen, damit beim Eintauchen keine Luft herausgedrängt wird, die beim Abkühlen durch eindringendes Paraffin ersetzt würde. Trotz dieser Vorsicht ist es mir nie gelungen das Aufsteigen der Luftblasen vollständig zu verhindern, wenn der Körper *längere* Zeit eingetaucht blieb. Es ist daher noch nötig den Körper rasch einzutauchen und diese Operation so lange zu wiederholen, bis eine genügend dicke, vollständig anschliessende Paraffinschicht erhalten wird.

Nach diesen Vorsichtsmassregeln ist es mir gelungen auch nach dieser Methode brauchbare Resultate zu erhalten. Der Mittelwert aus 3 gut gelungenen Versuchen mit der Probe No. 2 ergab sich abgerundet $\Delta_s = 2.05$ ist also nur um 1 % grösser als der früher gefundene. Dies liegt aber innerhalb der Grenze der bei praktischen Versuchen verlangten Genauigkeit.

Zur Bestimmung der wahren Dichte wurde die Substanz pulverisiert und mit Hülfe eines Pyknometers das einer bestimmten Pulvermasse zugehörige Volumen bestimmt. Auch hier ist dieselbe Vorsicht anzuwenden wie früher, die darin besteht, zuzuwarten bis das Pulver vollständig mit Wasser durchdrängt ist. Die Resultate, die ich bei verschiedenen Versuchen erhielt, waren im Durchschnitt etwas kleiner als jene mit der früheren Methode erhaltenen. Die Werte schwanken um den mittlern Wert $\Delta = 2.63$ ca. ½ % auf und ab. Mit Sorgfalt operiert, lässt sich also auch diese Methode in der Praxis mit Vorteil verwenden und ist bei wenig porösen Massen der andern vorzuziehen; denn bei diesen würde das Durchdringen mit Wasser noch längere Zeit erfordern.

5. *Die Porosität.*

1. Definiert man als Porosität (s. S. 50) das Verhältnis des Volumen v der Löcher zum Volumen V der Substanz, also

$$\text{Porosität} = \frac{v}{V} = \frac{N_2 - N_1}{N_1 - N_3}$$

so findet sich für jenen Versuch auf S. 50, der stationäres Resultat für die Dichte ergab, die Porosität folgendermassen:

$$N_2 - N_1 = 3.355$$
$$N_1 - N_3 = 10{,}776$$
$$\text{Porosität} = 3.355 : 10.776 = 0{,}311.$$

2. Definiert man aber als Porosität, nach der mehr üblichen Weise, das Verhältnis des Volumens der Löcher zum ganzen Volumen des Körpers, so findet sich

$$\textit{Porosität} = \frac{v}{V+v} = \frac{1}{1+\frac{V}{v}} = \frac{1}{1+\frac{N_1 - N_3}{N_2 - N_1}} = \frac{N_2 - N_1}{N_2 - N_3}$$

Für den nämlichen Versuch wie oben berechnet, wird:

$$N_2 - N_1 = 3.355$$
$$N_2 - N_3 = 14.131$$
$$\textit{Porosität} = \frac{3{\cdot}355}{14.131} = 0{,}23$$

d. h. »das Volumen der Löcher beträgt 23% vom ganzen Volumen des Körpers, also nahezu $^1/_4$ des ganzen Volumens«.

Die Porosität lässt sich auch aus den beiden Dichten Δ und Δ_s bestimmen; denn Δ bedeutet die Masse im Volumen Eins (1 ccm) beim Fehlen jeder Poren, Δ_s die Masse in demselben Volumen bei vorhandenen Poren; also bedeutet $\Delta - \Delta_s$ die Masse Substanz die im Volumen der Poren enthalten sein könnte und $(\Delta - \Delta_s) : \Delta$ = das Volumen der Poren im Volumen Eins.

$$\frac{\Delta - \Delta_s}{\Delta} = \textit{Porosität} = \frac{2.65 - 2.02}{2.65} = \frac{0{,}63}{2.65} = 0{,}237.“$$

ζ. **Bestimmung des Wassersaugvermögens** (Wasseraufnahme).

Bruchstücke natürlicher Bausteine und Schiefer, Scherben künstlicher Bausteine und Dachziegel, Würfel von 7 cm Kantenlänge oder ganze Gebrauchstücke der Kategorie künstliche Bausteine werden bis zum konstanten Gewicht getrocknet, oberflächlich gereinigt, gewogen, hierauf aufrechtstehend auf ca. 2 cm Tiefe in destilliertes Wasser versenkt. Nach und nach wird Wasser zugegossen, so dass die Körper nach Ablauf von ca.

20 Stunden vom Wasser gänzlich bedeckt erscheinen. Nach 24, 48 Stunden und 28 Tagen Wasserlagerung werden die Proben zurückgewogen. Die Differenz der ersten und letzten Wägung giebt die gesuchte Wasseraufnahme; sie wird in % des Steingewichts und als scheinbare Porosität auch in % des Steinvolumens ausgedrückt.

Das Mittel aus mindestens 3 Einzelversuchen — gewöhnlich aus 5 Versuchen — gilt als massgebender Durchschnitt.

η. Bestimmung der Fähigkeit des Erweichens in Wasser.

Die der Probe auf Fähigkeit der Wasseraufnahme unterworfenen Würfel, Zerreissproben natürlicher Bausteine oder ganze Gebrauchsstücke künstlicher Bausteine oder Dachziegel werden nach Verfluss der 28-tägigen Wasserlagerung in wassersattem Zustande der Festigkeitsprobe (Zug, Druck oder Biegung) unterworfen und die gewonnenen Ergebnisse mit jenen der Trockenproben verglichen. Beschaffenheit und Anzahl der Probekörper entspricht den für Vornahme von Festigkeitsproben festgesetzten Bestimmungen.

ϑ. Bestimmung der Frost- und Wetterbeständigkeitsverhältnisse.

Bevor wir auf die Beschreibung der Prüfungsmethoden der Frost- und Wetterbeständigkeitsverhältnisse der künstlichen und natürlichen Bausteine und der verwandten Materialien eintreten, sei gestattet, die Bemerkung einfliessen zu lassen, dass es kaum gelingen dürfte, völlig zutreffende Methoden der Prüfung der Frost- und Wetterbeständigkeit zu schaffen; hält es schon überaus schwer, die Wirkung der Agentien der Atmosphärilien, die Gleichzeitigkeit der atmosphärischen Einflüsse experimentell nachzubilden, so erscheint es anderseits ganz ausgeschlossen den Einflüssen der Zeit, der Dauer der Einwirkung der Atmosphärilien in der Natur bei Laboratoriumsarbeiten Rechnung zu tragen. Das Resultat der Prüfung dieser Verhältnisse wird daher stets ein relatives bleiben und nur den Grad der Widerstandsfähigkeit eines Materials im Vergleiche zu einem andern auszudrücken imstande sein. Auch sind wir der Ansicht, dass das Prüfungsverfahren auf Frost- und Wetterbeständigkeit nicht schablonenmässig unifiziert, sondern der individuellen Eigenart des Materials angepasst

werden soll. An Gesteinsarten mit bekannter Zusammensetzung und bekanntem Verhalten gegenüber den Atmosphärilien und anderer Agentien sind Frost- und Wetterbeständigkeitsproben überhaupt nutzlos und sollten durch petrographische Beschreibungen oder kombinierte petrographisch - chemisch - analytische Untersuchungen ersetzt werden. Die Untersuchung eines Granits auf dessen Frost- und Wetterbeständigkeit bleibt ein völlig nutzloses Bemühen und wenn z. B. bei Frostversuchen eines Granitwürfels die Ablösung eines oder mehrerer Ecken beobachtet wird, so beweist dies lediglich nur, dass das Material bei Herstellung des Probekörpers Schaden genommen, welcher erst in der Probe zur Geltung kam. Ein dichter Kalkstein, ein Kalkstein, der kein Wasser aufnimmt, wird jede noch so scharfe Frostprobe bestehen. Der dichte, thonschüssige Kalkstein besteht die Frostprobe ebenso vollkommen als der reine, dichte Kalkstein, kann aber in. der Wirklichkeit ein widersprechendes Verhalten zeigen. Hier kommt eben alles auf die Dauer und andere sekundäre Einwirkungen an, auf welche in nachfolgendem noch näher eingetreten werden soll. Zur Kennzeichnung von Materialien dieser Art genügt die petrographische Untersuchung nicht; sie sollte durch eine chemisch-analytische ergänzt werden. Den reinen, thonigen oder dolomitischen Kalkstein der Einwirkung der schwefligen Säure, ja selbst der feuchten Kohlensäure zu unterwerfen, ist völlig überflüssig; die eintretende Reaktion ist nicht nur voraussichtlich, sie hat auch in der Frage der Wetterbeständigkeit keine Beweiskraft. In solchen Fällen wird in Verbindung mit der chemischen Analyse die petrographische Untersuchung das Material hinreichend charakterisieren, hat dazu den Vorteil der Einfachheit und bewahrt den Beobachter vor Trugschlüssen, zu welchen insbesondere die von der Bearbeitung der Probekörper herrührenden Beschädigungen Veranlassung geben können.

Gegen die schablonenmässige Vereinfachung und Verallgemeinerung des Prüfungsverfahrens auf Frost- und Wetterbeständigkeit der steinartigen, künstlichen und natürlichen Baustoffe spricht ferner der Umstand, dass die Wirkungen der Atmosphärilien und anderer, die Kohaesionsverhältnisse des Materials nachteilig beeinflussenden Agentien mit wechselnder, physikalischer Beschaffenheit des Materials ebenfalls wechseln. Beim dichten Kalkstein beispielsweise kann von einer Erweichung der

Masse keine Rede sein, während die porösen Kalksteine bei gleicher chemischer Zusammensetzung oft eine weitgehende Erweichungsfähigkeit zeigen.

Über die Natur und Wirkungsweise der Agentien, die die Bautüchtigkeit eines steinartigen Baustoffs, sei es *mittelbar* oder *unmittelbar*, nachteilig beeinflussen, ist man seit längerer Zeit hinlänglich unterrichtet.

Als Bestandteile der Luft fallen hier in Betracht:

Die Kohlensäure, die schweflige Säure, der Sauerstoff, das Wasser.

Als Bestandteile des Humus, bezw. Stoffe, die aus dem Mörtel entstammen:

Das *Kochsalz*, das *Chlormagnesium*, die *unterschiedlichen Karbonate* und *Sulfate*, der *Salpeter*, die *Humussäure*, der *Ammoniak*.

In die Reihe der Agentien, die diese Materialien gefährden, gehören ferner:

Die *Expansionskraft des Wassers beim Übergange in die feste Aggregatform; die durch Temperaturwechsel, einseitige Erwärmung bedingte Ausdehnung und die damit verbundenen Spannungszustände;*

Das organische Leben, welches teils durch direkte Ansiedelung vegetabilischer Organismen, teils durch deren Lebensprozess nachteiligen Einfluss auf den Bestand eines steinartigen Materials auszuüben imstande sind. So scheint insbesondere die Oxydation des Stickstoffs des Ammoniaks, also die Bildung von salpetriger Säure, die als Endprodukt zur Salpeterbildung führt, auf bakteriologische Vorgänge zurückzuführen sein (vergl. Prof. Winogradski's Arbeiten).

Die Beschreibung des Verhaltens der unterschiedlichen Gesteinsarten und deren Komponenten gegenüber den vorstehend angeführten Agentien findet an anderer Stelle dieses Heftes statt; vergl. Prof. Dr. *Grubenmann's* Beitrag zu vorliegendem Hefte: »Beurteilung der natürlichen Bausteine nach ihrer petrographischen Beschaffenheit und geologischen Stellung.« Übrigens darf der Prozess der Verwitterung als allgemein bekannt vorausgesetzt werden und beschränken wir uns hier, die Einflüsse obiger Agentien auf solche Gesteinsarten übersichtswillen zusammenzufassen, die in einer absehbaren Zeit Verunstaltungen oder Kohaesionsverlust erfahren können. Wir beginnen mit

1. den Silikatgesteinen

(bearbeitet durch Hrn. Prof. ***Grubenmann*** im Berichte der Unterkommission 3 des internat. Kongresses der Materialinteressenten und Festigkeitstechniker, Zürich 1895)

und unterscheiden

dichte, d. h. Wasser nicht aufsaugende, — von den
undichten, d. h. Wasser aufsaugenden Silikatgesteinen.

In die Kategorie der ersteren gehören:

Granite und Granulite, Syenite, Diorite, Gabbro, Diabase (Grünsteine); viele Liparite, Trachyte und Andesite;

Granitporphyre, Porphyre und Porphyrite, Melaphyre und Basalte;

Gneisse, Glimmerschiefer und Grünschiefer (Hornblendeschiefer);

Serpentin.

Für die *erste Gruppe* ist hier neben Feldspat (Orthoklas und Plagioklas) ein Glimmer, Amphibol oder Augit als Gemengteile in Betracht zu ziehen, sowie eine durch das Gestein wenig wechselnde (grob- bis fein-) körnige Struktur.

Die *zweite Gruppe* bietet eben diese Gemengteile, besonders die Feldspäte, als grössere »Einsprenglinge« eingebettet in eine feinkörnige bis dichte »Grundmasse«, die zumeist wieder aus mikroskopisch kleinen Feldspäten und Quarzen oder Feldspäten und Augiten zusammengesetzt ist, verkittet durch eine grössere oder kleinere Quote eines hochsauren Gesteinglases.

Die *dritte Gruppe* ist substantiell der ersten gleich oder wenigstens sehr ähnlich, aber schiefrig struiert.

Die *vierte Gruppe* ist feldspatfrei, ein blosses wasserhaltiges Magnesium-Eisen-Silikat.

Substantiell liegen trotz dieser scheinbar uniformen mineralischen Zusammensetzung äusserst wechselvolle Materialien vor, deren Kieselsäuregehalt z. B. schwankt zwischen 80 und 40 %, so dass es wohl angezeigt wäre, den einzelnen Gesteinsarten gesonderte Betrachtungen zu widmen. Allein abgesehen davon, dass dabei einerseits viele Wiederholungen nicht zu umgehen wären, anderseits den theoretisch gegebenen Gesichtspunkten die praktische Erdauerung durch die technischen Erfahrungen vielfach noch mangeln würde, kann besonders auch im Hinblick

auf die aus der Betrachtung für das Prüfungsverfahren zu gewinnenden Gesichtspunkte der Weg eines mehr summarischen Überblickes gerechtfertigt erscheinen.

Alle in den ersten vier Gruppen namhaft gemachten Gesteine dürfen als »Wasser nicht aufsaugend« taxiert werden, eine Eigenschaft, von welcher die Technik in ihren vielfachen Anwendungen längstens ausgedehnten Gebrauch gemacht hat. Wenn man dessen ungeachtet in der Natur besonders die unter der ersten Gruppe aufgeführten Beispiele sich völlig desaggregieren und zu »Grus« zerfallen sieht, so ist zu bedenken, dass darin ein lange andauernder *geologischer Prozess* vorliegt, den das in Klüften und kapillaren Spalten eingedrungene Wasser im Bunde mit Temperaturwechsel, Kohlensäure und Organismen ausübt, an einem Materiale des natürlichen Gesteinsverbandes, dessen Konditionen von denjenigen eines baulichen Verbandes in gar manchen Dingen nicht unerheblich abweichen. Inwieweit das Gesteinskorn den angezogenen Vorgang beeinflusst, liegt nicht klar zu Tage; grobkörnige Granite scheinen für ihn eher zugänglich zu sein; manche feinkörnige Granite neigen zum *versanden*, während andere den dichten Gesteinen (der zweiten und dritten Gruppe) an die Seite zu stellen sind, die in der angedeuteten Richtung den grössten Widerstand entwickeln. Am ungünstigsten sind hierin die in die vierte Gruppe rubrizierten schiefrigen Gesteine zu taxieren, deren lamellares Gefüge ein durch Wasser und Temperaturwechsel eingeleitetes Abspringen oberflächlicher Schuppen, ein *Abblättern* begünstigt; in der That zerfallen sie auch im natürlichen Verbande zumeist rascher als ihre körnigen Verwandten. Für die bauliche Anwendung kommt dieser Unterschied kaum in Betracht. Wie z. B. die massenhaft angewandten Gneisse beweisen, gehört diese schiefrige Fraktion neben den körnigen der ersten und dichten der zweiten und vierten Gruppe der Silikat-Gesteine, in frischem Zustande angewendet, zu den widerstandsfähigsten und darum geschätztesten Baumaterialien, über die der Techniker überhaupt verfügen kann! Allfällig abspringende Ecken enthüllen in allen 4 Gruppen bloss schon früher im Gesteine vorhandene, aber bei der Auswahl und Bearbeitung missachtete Gesteinsklüfte; feineres oberflächliches *Abbröckeln*, »*Absanden*« ist zurückzuführen auf die Lockerung des Gefüges in den äussersten Gesteinspartien bei Behauung mit Stichel und

Körnel (vergl. Prof. Aug. Hanisch, Frostversuche mit Bausteinen der österr.-ungar. Monarchie, 1895).

Der Einfluss der Atmosphärilien im engeren Sinne (Sauerstoff, Kohlensäure und Wasser) giebt sich je nach Qualität und Quantität des vorhandenen Eisengehaltes zu erkennen in einem oberflächlichen *Abbleichen* (spärlich grünfärbendes Eisenoxydul geht über in schwach gelb färbendes Eisenoxyd) oder durch stärkere *Rostfärbung* (Bildung reichlicher Eisenoxydmengen), wodurch, besonders in letzterem Falle, das Aussehen etwas leidet, die Festigkeit aber nicht gefährdet wird, da es sich bloss um ganz oberflächliche Vorgänge handelt. Dasselbe kann zunächst gesagt werden von der *Kaolinisierung*, d. h. von der Umwandlung der feldspatigen Gemengteile, besonders Orthoklas, in Kaolin, eingeleitet durch Wasser und Kohlensäure; auch hierzu bedarf es langer Zeiträume und auch hier können im baulichen Gesteinsverbande wiederum nur die äussersten Gesteinspartien angegriffen werden und dadurch ein hellfleckiges Aussehen annehmen. Wesentlich ungünstiger gestalten sich diese Verhältnisse, wenn das angewandte Gestein schon von Anfang an unfrisch, d. h. in seinen feldspatigen Gemengteilen bereits mehr oder weniger kaolinisiert war. Dies ist bei der ersten Gruppe, besonders ihren letzten 3 Vertretern (weil dort der Feldspat rissig ist), recht oft der Fall; auch alle Arten Porphyre, die Melaphyre und Basalte können diesen Fehler zeigen, sowohl an den Einsprenglingen, als an der Grundmasse, nicht selten so stark, dass das Gestein nach erfolgtem Anhauchen einen deutlichen Thongeruch wahrnehmen lässt. Bei schiefrigen Gneissen bewirkt der Vorgang im Gesteinsverbande sehr bald eine Lockerung des Gefüges, so dass sie alsdann die Baufähigkeit verlieren. Glimmerschiefer, Grünschiefer und Serpentine bleiben, weil nicht feldspatführend, hievon verschont.

Wieweit in den fraglichen Fällen der Prozess schon vorgeschritten, zeigt sich am deutlichsten durch eine *petrographische*, namentlich *mikroskopische* Prüfung (im Dünnschliff!). In zweifelhaften Stadien werden sich die *kombinierten Frost- und Wetterbeständigkeitsproben* (siehe später) daran anzuschliessen haben.

Frische Silikatgesteine der 1. Kategorie sind zweifellos auch widerstandsfähig gegen Rauchgase; von den mehr oder weniger kaolinisierten bis thonhaltigen dürfte dies nicht weiter gelten, da

wasserlösliches Thonerdesulfat gebildet werden kann, wodurch ein Gestein allmählich den *undichten und porösen* sich zugesellt.

In die zweite Kategorie, d. h. *zu den undichten und porösen, Wasser aufsaugenden Silikatgesteinen* gehören manche Liparite, Trachyte und Andesite, schlackige Basaltlaven, Bimssteine, Tuffe (Diabas-, Trachyt- und Andesittuff) und Thonsteinporphyre. Gesteine ersterer 4 Arten sind z. B. vor mehr wie zwei Dezennien in Anwendung gekommen beim Bau der Stationsgebäude der Eifeler Sekundärbahn Kruft-Andernach; am Kölner Dome verwandte man Siebengebirgstrachyte und -Andesite; die Niedermendiger Basaltlava, sowie manche ungarische Trachytlaven, und diverse mittel- und süditalische verwandte Gesteine dürften sogar in weitern Kreisen zu Bauzwecken Anerkennung gefunden haben.

Immerhin besteht selbstverständlich für diese Kategorie nur eine beschränkte Zulässigkeit; ausreichende technische Erfahrungen fehlen noch vielfach und liegen auch von unserer Seite nur in sehr beschränkter Weise vor. Bei manchen hieher zu rangierenden Materialien überschreitet die Porosität jenen Grad, der die kapillare Aufsaugung von Wasser begünstigt, oder bei der Eisbildung die sprengende Kraft des gefrierenden Wassers zur Aktion kommen lässt; diese wären ähnlich zu behandeln wie die später zu betrachtenden kalkigen Tuffsteine. Andern giebt die im übrigen dichte bis schlackigglasige Beschaffenheit auch gegen die Atmosphärilien grössere Widerstandskraft. Sind in allen diesen Fällen die Gesteine bei ihrer Verwendung noch frisch, worüber wiederum einer petrographisch mikroskopischen Prüfung die Entscheidung zufällt, so darf innert selbstverständlicher Grenzen baulicher Anwendung, denselben eine gute Wetterbeständigkeit prognostiziert werden, ohne weitere Prüfung.

Anders die meisten *Tuffe und Thonsteinporphyre,* welch letztere wohl völlig zutreffend als die Tuffe der gewöhnlichen Porphyre und Porphyrite aufzufassen sind. Viele derselben zeigen starken Thongeruch und bekunden damit, dass der Thon ein wesentlicher Gemengteil ihrer Masse ist; Behandlung mit Säure verrät fast immer auch einen Kalkgehalt. Erfahrungen hinsichtlich Wetterbeständigkeit oder bezüglich Widerstandsfähigkeit gegen Rauchgase liegen höchstens in spärlicher Weise vor. Der in qualitativem und quantitativem Sinne äusserst mannigfaltige Wechsel der Substanz lässt, theoretisch gedacht, alles Mögliche

voraussehen. Anwesenheit von mehr oder weniger Thon und Kalk eröffnet aber der technischen Anwendung auch für diese Gruppe dieselben Perspektiven wie für thonige Kalksteine und thonhaltige Trümmergesteine. Tuffe sind ja auch genetisch nichts anderes als Trümmergesteine vulkanischen Ursprungs. Was dort gilt, kann mit kleinen und wechselnden Abweichungen auch hier gesagt werden, weshalb hier auf jenen Abschnitt verwiesen und das dort entwickelte Prüfungsverfahren vorgeschlagen sei.

2. Die Karbonate,

(bearbeitet durch Prof. *Tetmajer* im Berichte der Unterkommission 3 des internationalen Kongresses der Materialinteressenten und Festigkeitstechniker Zürich 1895.)

Zu unterscheiden sind:

die dichten, Wasser nicht aufnehmenden, stich- und spaltfreien, nicht geaderten —

die dichten, Wasser nicht aufsaugenden, schiefrigen, geaderten, oolithischen, bezw. die *thonigen,* endlich

die undichten, Wasser aufsaugenden, erdig-körnigen oder *oolithischen* Karbonate.

Gemeinsam der Species dieser Gesteinsgruppen ist die geringe Widerstandsfähigkeit gegen die Säuren der Atmosphäre. Die äussern Erscheinungen der Veränderungen, die diese Gesteinsarten erleiden, wechseln mit ihrer physikalischen Beschaffenheit.

Die *dichten, Wasser nicht aufnehmenden, stichfreien, nicht geaderten, thonfreien* oder *doch thonarmen* Karbonate verlieren unter Einwirkung der feuchten, atmosphärischen Kohlensäure, ungleich energischer unter jenen der schwefligen Säure, zunächst ihre Glätte und Politur; sie werden allmählich rauh und stumpf. Scharfe Kanten gehen verloren. Flächen, auf welche die Träger der schwefligen Säure, der *Schnee* und *Russ* lagern können, bezw. auf welchen das Wasser liegen bleibt oder doch nur langsam abfliesst, werden rauh, pockennarbig, oft höckerig und zeigen nicht selten tiefgreifende Korrosionen. Unter Einwirkung feuchter Kohlensäure werden die Karbonate als Bikarbonate aufgelöst und abgeschwemmt. Die zu Schwefelsäure oxydierende schweflige Säure bildet mit den Basen der Karbonate Sulfate, die teils gelöst, teils mechanisch fortgeschwemmt werden. Dieser Prozess

geht nur sehr langsam, von aussen nach innen fortschreitend, vor sich. Die Tragfähigkeit der Steine wird nur unwesentlich beeinflusst, dagegen geht ihr Ansehen allmählich verloren.

Die *dichten, schiefrig brechenden,* ferner die *geaderten, stichigen* oder die *oolithischen, thonfreien* oder *doch thonarmen* Karbonate *blättern, schiefern* oder *bröckeln* mit der Zeit ab. Durch Einwirkung der Säuren der Atmosphäre geht das Zerstörungswerk ähnlich dem vorstehend beschriebenen vor sich. Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden besteht indessen darin, dass das Wasser bei genügender Dauer der Einwirkung zwischen die Schicht-, bezw. in die Stichfugen eindringen, das Lösungs- und Lockerungswerk des Steinmaterials einleiten wird. Bevor noch die Kanten stumpf werden, beginnen am Haupte solcher Steine Korrosionen und Spaltbildungen, die anfänglich unscheinbar sind, mit der Zeit aber das Wasser tiefer einsickern lassen. Durch Bildung der Bikarbonate, der Sulfate, durch Erweichung der Masse, der Hauptsache nach aber durch die Expansionskraft des gefrierenden Wassers tritt die mit der Zeit wachsende Lockerung des Steingefüges ein. So sind allmählich die ursprünglich dichten Sockelsteine (Fensterbänke des Kellergeschosses) des Hauptgebäudes am schweiz. Polytechnikum nach kaum 25-jährigem Bestand beschädigt worden. Korrosionen und Spaltbildungen von ca. 5 cm Tiefe mussten wiederholt mit Cement ausgebessert werden.

Ähnliches Verhalten zeigen die geaderten und stichigen Karbonate; während die schiefrigen Kalksteine abblättern, lamellar abschiefern, bröckeln geaderte und stichige Karbonate allmählich ab. Beispiele hiefür: Brüstungspfeiler der Bahnhofbrücke — Zürich; Braunschweigdenkmal in Genf; u. d. m.

Die *thonreichen, scheinbar dichten* Karbonate verhalten sich anfänglich den dichten thonfreien Karbonaten ähnlich. Allmählich, indessen erst nach längerer Wassereinwirkung tritt eine Durchfeuchtung des Materials und bei genügend intensiver oder dauernder Kälte ein Bersten, bezw. ein Abblättern desselben ein.

Die *erdig-körnigen, undichten,* also *Wasser aufsaugenden* Karbonate verhalten sich den porösen Sandsteinen mit kalkigem Bindemittel ähnlich. Ein Unterschied besteht bloss darin, dass bei den Sandsteinen durch die Säuren der Atmosphäre lediglich

bloss das Bindemittel angegriffen werden kann, während bei den körnig-erdigen Kalksteinen die ganze Masse angegriffen wird. Die den Kalksteinen eigentümlichen Korrosionen und Spaltbildungen finden bei Sandsteinen nicht statt; dagegen findet bei diesen wie bei den undichten, erdigkörnigen Karbonaten je nach Materialbeschaffenheit

ein *Absanden,*
ein *Abblättern* bezw.
ein *Bersten*

des Materials statt. Auf die Vorgänge dieser Verwitterungserscheinungen kehren wir bei Behandlung der Sandsteine zurück.

In der Kategorie der Karbonate *bleiben noch die grossluckigen, tuffösen Kalksteine* (Kalktuffe) zu erwähnen übrig. Grundlagen für deren allgemeine Beurteilung fehlen. Die in der Schweiz mit tuffösen Kalksteinen gemachten Erfahrungen sprechen indessen dafür, dass zu Folge der grossen Porenhohlräume Frostschäden nicht eintreten. Die Sättigung der Porenhohlräume dieser Steinsorten ist eben nicht zu erreichen, eine Expansion des Eises kann sich daher in schädlicher Weise nicht geltend machen. Bezüglich der Angriffe durch die atmosphärischen Säuren teilen die tuffösen Kalksteine das Schicksal aller Karbonate.

3. Trümmergesteine.

Auch hier sind zu unterscheiden:

die *dichten, Wasser nicht aufnehmenden* — von den *undichten, porösen, Wasser aufsaugenden* Trümmergesteinen, deren Bindemittel kalkig, thonig oder kieselig beschaffen sein kann.

Dichte, Wasser nicht aufsaugende Trümmergesteine mit kalkigem Bindemittel verhalten sich in jeder Beziehung den dichten Kalksteinen ähnlich. Unter Einwirkung der Atmosphärilien, also unter Einwirkung des Wassers, der atmosphärischen Säuren und der Winterfröste werden Trümmergesteine dieser Kategorie oberflächlich schadhaft. Die Zerstörung geht indessen nur langsam vor sich und ist selbst auf Flächen, auf welchen Schnee und Russ liegen bleiben, das Wasser nur langsam abfliesst, Dank der teilweisen Unempfindlichkeit der Oberfläche gegenüber den Einflüssen der Agentien der Atmosphäre, belanglos.

Scheinbar dichte Trümmergesteine mit thonigem Bindemittel, also Trümmergesteine, die oft längere Zeit gegen Einwirkungen des Wassers unempfindlich sind, mit der Zeit aber ähnlich den thonigen Kalksteinen eine Durchfeuchtung der Kittsubstanz erfahren, besitzen die Eigenschaft zu erweichen und sanden oder blättern durch Hinzutritt scharfer Winterfröste allmählich ab. Das Absanden und Abblättern dieser Gesteinsarten wird durch die Art der Bearbeitung des Materials gefördert und ist wesentlich durch den Grad und die Tiefe der Durchfeuchtung bedingt, Laboratoriumsversuche mit Gesteinsarten dieser Art führen bloss dann zu etwelchen Resultaten, wenn den Frostversuchen eine dauernde Wassereinwirkung vorauseilt und diese genügend häufig wiederholt werden.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei den *undichten, Wasser aufsaugenden Trümmergesteinen,* ihr Verhalten gegenüber den Atmosphärilien und den Winterfrösten gleicht im allgemeinen demjenigen der porösen, erdig-körnigen Kalksteinsarten; sie *sanden* oder *blättern relativ rasch* ab, während das *Bersten* und *Spalten* in der Regel nur bei Sorten mit geringer Trockenfestigkeit und relativ weitgehender Erweichungsfähigkeit der Kittsubstanz in Wasser eintritt.

Durch Aufnahme säureführenden Wassers erfährt die *kalkige Kittsubstanz* der porösen, erdig-körnigen Trümmergesteine, sowie der löchrigen (jüngeren) Konglomerate und Brescien durch allmähliche Auflösung (Bikarbonate) oder molekulare Umlagerung (Sulfate), eine von aussen nach innen abnehmende Schwächung des Zusammenhanges. Die mit dem Wasser aufgenommenen Säuren der Atmosphäre treten zunächst unter der Steinoberfläche in Aktion; die tieferliegenden Steinpartien werden der Hauptsache nach nunmehr durch säurefreies Wasser durchzogen, welches lediglich nur im Sinne der Erweichung der Kittsubstanz einwirken kann. Ist die Kittsubstanz des Materials abgemindert, chemisch verändert oder zu Folge dauernder Durchfeuchtung erweicht, so bedarf es lediglich nur geringfügiger mechanischer Einwirkungen, um Ablösungen der Sandkörner, das so häufig beobachtete »*Absanden*« der Kanten und Flächen bezw. das »*Abblättern*« der letztern zu ergeben. Das Abblättern erfolgt in der Regel im Sinne der natürlichen Schichtungsverhältnisse. Nicht selten findet dasselbe (fladenförmige Ablösungen von 3

und mehr mm Stärke) längs zwei senkrecht zueinander stehenden Flächen statt, von welchen doch nur die eine der natürlichen Schichtung entsprechen kann. (Beispiele dieser Art sind sehr zahlreich, siehe unter anderem die glatt bearbeiteten Treppenbalusier und Pfeiler, Hauptgebäude des schweiz. Polytechnikums, Bekleidungsquader der Elisabethenkirche, Basel u. a. O.) Wir haben es hier offenbar mit Zerstörungserscheinungen zu thun, die, wie bereits vorerwähnt, mit der Art der Bearbeitung des Materials im Zusammenhange stehen. Durch das Spitzen und Kröneln scheint eine ziemlich tief reichende, für das Auge nicht sichtbare Lockerung des Steingefüges vor sich zu gehen, durch welche den Frostwirkungen in wirksamster Weise vorgearbeitet wird.

Freischwebende Sandstein-Platten zeigen häufig starke Abblätterungen der untern, der direkten Trockenwirkung der Sonnenstrahlen und der Luft entzogenen Seite, während die obere, den Einwirkungen der Atmosphärilien direkt ausgesetzte Steinfläche in der Regel gut erhalten erscheint und nur die bekannten, geringfügigen, auf den Säurefrass zurückzuführenden Absandungen und etwelche Korrosionen zeigt. Diese Art der Abblätterungs-Erscheinungen sind Folgewirkungen des Erweichens des *Kittstoffes* und der Expansionskraft des Wassers beim Übergang in feste Aggregatform. Das auffallende Regenwasser durchzieht den Stein im Sinne der Schwerkraft, setzt sich kapillar in den Porenräumen der untern Steinpartien fest und bewirkt hier das Erweichen der Kittsubstanz und Lockerung des Gefüges beim Gefrieren.

Neben dem Abblättern tritt bei undichten Trümmergesteinen aller Art am häufigsten das Absanden auf; die wiederholt verlautbarte Ansicht, wonach Absandungen nur bei Trümmergesteinen mit thonigem oder kalkigem Bindemittel vorkäme, widerspricht unsern Erfahrungen. Der als Statuar benützte Schleitheimer Sandstein mit kieseligem Bindemittel (Keupersandstein) sandet ähnlich den kalkigen Molasse-Kalksandsteinen ab, wie verschiedene Grabdenkmäler, sowie Skulpturarbeiten auf öffentlichen Gebäuden in Zürich lehren. Hier kommt eben alles auf die Qualität und Quantität der Kittsubstanz an, die Fall für Fall näher untersucht werden muss.

Neben der Fähigkeit des Erweichens, der Einwirkung der atmosphärischen Säuren, der Expansionskraft des Eises, der Einflüsse der Bearbeitungsart spielen in der Frage der Frost- und Wetterbeständigkeit noch andere, meist nicht völlig aufgeklärte Einflüsse mit. Eines der bemerkenswertesten Beispiele dieser Art bildet die Verwitterung der Säulen der Grabkirche zu Königsfelden. Dieses Bauwerk stammt aus dem Jahre 1307 und trägt den Charakter der Kirchenbauten der Bettelmönche. An den Chorraum stösst unvermittelt eine dreiteilige Basilika im gothischen Styl. Einzelne der die Hochschiffwände tragenden, achteckigen Säulen, welche aus Trommeln in einem gelben Molassesandstein erstellt waren, sind im Laufe der Zeit in geschlossenem Raume durch *Absandung* derart verwittert, dass eine Gefahr für den weiteren Bestand des Objektes eingetreten ist. Vorwiegend waren es die Säulen unter der nordöstlichen Hochschiffwand, die in wechselnden Höhenlagen in einzelnen Fällen bis zum Säulenfusse reichend, hyperbolisch ausgeschweift erschienen. Das Bauwerk diente Ende des verflossenen und anfangs des 19. Jahrhunderts als Salzmagazin und erhielt als solches einen drei Stockwerke umfassenden Holzeinbau, welcher zur Zeit der Restauration des Objektes (1891) in vollkommen gesundem Zustande angetroffen wurde. Im 14. Jahrhundert, wohl auch noch in späterer Zeit diente die Kirche als Grabstätte. Die hier geborgenen Leichname lagen in Holzsärgen kaum 40 bis 50 cm unter dem Kirchenboden. Wir erwähnen diesen Umstand, weil durch die langsame Verwesung der organischen Stoffe zweifellos nicht unerhebliche Mengen an Kohlensäure in den Kirchenraum gedrungen sind.

Der Beginn der Verwitterungserscheinungen ist nicht festgestellt; derselbe gieng indessen bis zur Zeit des Abbruchs (1891) der schadhaften Säulen stetig vor sich. Es sandeten an ein und derselben Säule oft mehrere übereinander gelegene Trommeln ab. Bei andern waren bloss einzelne Trommeln angefressen; die Verteilung der angefressenen Steine schien ziemlich regellos, lag indessen der Hauptsache nach unter dem ersten Boden des vorerwähnten Holzeinbaues.

Ein und derselben Trommel entnommene Muster und zwar aus der in Verwitterung begriffenen Umfassung und der Pfeilermitte ergaben folgende chemische Zusammensetzung:

		Aussen		*Innen*	
Sandsubstanz:	SiO_2	59,71 %		63,30 %	
	Al_2O_3	6,68 »		6,18 »	
	Fe_2O_3	0,75 »		0,51 »	
	CaO	0,21 »		0,19 »	
	MgO	0,22 »		0,20 »	
	Alkalien *)	2,25 »	69,82 %	2,36 »	72,74 %
Kittsubstanz:	$CaCO_3$	20,30 %		19,25 %	
	CaO	0,53 »		0,08 »	
	MgO	0,69 »		0,56 »	
	Al_2O_3	1,17 »		1,21 »	
	Fe_2O_3	1,95 »	24,64 %	1,47 »	22,57 %
Lösliche Bestandteile:	NaCl	0,71 %		0,67 %	
	$CaSO_4$	0,26 »		0,05 »	
	KNO_3	0,24 »	1,21 %	0,19 »	0,91 %
Wasser:	H_2O	4,33 %	4,33 %	3,78 %	3,78 %
	Summa . . .		100,00 %	. . .	100,00 %

Die *Druckfestigkeit* des *Materials,* erhoben an Würfeln des gesunden Materials, schwankte

zwischen 202,0 und 280,0 kg pro cm^2.

Die Analysen des Sandsteines lassen die Ursachen der Zerstörung oder Veränderungen des Materials nicht erkennen. Die Differenzen der Mengen der einzelnen Stoffe liegen der Hauptsache nach innerhalb der Fehlergrenzen, mögen zum Teil auch in der Inhomogenität des Materials ihre Erklärung finden. Auffallend differiert lediglich die angetroffene Wassermenge.

Man hat mehrfach gesucht, die Verwitterungserscheinungen der beschriebenen Säulen der Königsfelder-Kirche mit dem Kochsalze in Beziehung zu bringen, welches eine zeitlang in dieser Kirche deponiert war. Indessen ist der Kochsalzgehalt wie der Salpetergehalt in so geringen Mengen angetroffen worden, dass diesen ein zerstörender Einfluss nicht beigemessen werden kann. Dann aber enthielt ja der Stein an den verwitterten Aussenflächen fast gleiche Mengen dieser Stoffe wie im gesunden Kern. Trügen also das Kochsalz oder dessen Begleiter das etwa vorhandene Chlormagnesium, oder der Salpeter, durch *chemische Einwirkungen* Schuldanteil am Zerstörungswerke, so müsste dieses gleichzeitig

*) als Differenz.

aussen und innen vor sich gegangen sein. Nach unseren Erfahrungen verhält sich das Kochsalz in trockenem Zustande gegenüber dem kohlensauren Kalke, möge dieser als Kittsubstanz von Trümmergesteinen oder als Mörtelkomponente auftreten, völlig indifferent. Bezüglich des Verhaltens des Chlormagnesiums und des Salpeters fehlen zuverlässige Beobachtungen. Indessen sind wir der Meinung, dass der beim *Mauerfrass* angetroffene Salpeter nicht das nagende Agens bildet, sondern als Endprodukt der Oxydation des Stickstoffs des Ammoniaks anzusehen ist, welcher in Form von salpetriger Säure oder Salpetersäure die Verheerungen veranlasst.

Was nun speziell die Verwitterung der Königsfelder Hochschiffpfeiler betrifft, so erscheint diese als Produkt des Zusammenwirkens mehrerer Faktoren. Unserer Meinung nach erfolgte die Verwitterung

1. nur an solchen Trommeln der Pfeiler, die ein und derselben schlechten Bank eines unbekannten Steinbruchs in der Nähe der Habsburg entstammen, welche wahrscheinlich hart unter dem Humus lag und aus dieser die an sich geringen Mengen an Kochsalz und Salpeter aufgenommen hat;

2. diese Salze vermochten durch Hygroskopicität das einmal aufgenommene Wasser zum grössten Teil (3,8—4,3 %) kapillar festzuhalten;

3. das festgehaltene Wasser reduzierte die Trockenfestigkeit des Materials und arbeitete so der Frostwirkung wirksam vor;

4. die aus dem Kirchenboden entwichene Kohlensäure vermochte durch Bildung des Bikarbonats eine weitere Schwächung der Kittsubstanz des Sandsteinmaterials zu erzeugen;

5. durch Hinzutritt der Winterfröste ist die schliessliche Absandung der Trommeln der Pfeiler zu stande gekommen.

Aus Vorstehendem geht hervor, dass zur Beurteilung der Frost- und Wetterbeständigkeitsverhältnisse eines Materials die Ausführung einzelner Versuche, die die Agentien der Atmosphäre in ihren Wirkungen nachzubilden berufen sind, nicht genügt, dass das Versuchsverfahren vielmehr derart ausgebildet werden müsse, dass der Gleichzeitigkeit der Einwirkung der Agentien und der Häufigkeit ihrer wiederholten Angriffe entsprochen wird. Auch wird man auf die chemische Zusammensetzung und das Vorhandensein schädlicher Salze im Steinmaterial ein grösseres Gewicht legen müssen, als dies bis anhin geschehen ist.

Von diesem Standpunkte aus und mit Rücksicht auf die thatsächlichen Verhältnisse in der Natur erscheint es völlig wertlos, wenn, wie dies bis auf die jüngst verflossene Zeit geschah, die Ausführung der Frostversuche unmittelber auf die Wassersättigung des Versuchsmaterials folgt, ohne demselben Zeit zu lassen, den Prozess des Erweichens zu vollziehen. Ebenso wertlos erscheint die Ausführung eines einzigen, 24 Stunden dauernden Frostversuches, anstatt das Material mindestens 25mal dem Wechsel von Auftauen und Gefrierenlassen bei ca. 15—20 ° C unter Null auszusetzen. Solchen Versuchen widerstehen selbst anerkannt frostunbeständige Materialien tadellos; sie können daher zur Quelle von Trugschlüssen und nachträglicher Enttäuschungen werden.

Methode der Versuchs-Ausführung.

a. Für *undichte,* d. h. *wasseraufsaugende Karbonate und Silikatgesteine mit Ausschluss der tuffösen Silikatgesteine und Thonsteinporphyre, sowie aller Trümmergesteine.*

4 Stück ebenflächig und scharfkantig gearbeitete Würfel mit 7,0 cm Kantenlänge oder ebensoviel in der 8-ter Form (Cementform) mit 5 cm^2 Querschnittsfläche gearbeitete Zerreissproben oder, sofern Zug- oder Druckproben nicht erhältlich wären, 4 Stück Schroppen (Handstücke) von ca. 8,0 cm Kantenlänge, ca. 4,0 cm Breite und Dicke werden bis zum konstanten Gewicht getrocknet, oberflächlich gereinigt, gewogen, hierauf eventuell unter einer Quecksilber-Luftpumpe mit Wasser gesättigt. Die wassergesättigten Probekörper gelangen hierauf für die Dauer von 28 Tagen in ein Wasserbad und aus diesem direkt in den Kühlraum eines Frostapparates, wo sie einer Temperatur von — 15 bis 20 °C während mindestens 4 Stunden ausgesetzt werden. Die Dauer der Frosteinwirkung hängt von der Beschaffenheit der Proben ab. Schroppen unter 4,0 cm Breite und Dicke bleiben ca. 4 Stunden im Frost. Massige Proben (von über 4,0 cm Dicke), belässt man bei Tag 7 Stunden, über Nacht 13—14 Stunden im Kühlraum. Hierauf werden die Proben in Wasser von ca. 15 °C aufgetaut und das Spiel des Gefrierens und Wiederauftauens 25-mal wiederholt. Bestimmt wird die Art der Zerstörung der Muster, der Substanzverlust — und soferne regelrecht gearbeitete Probekörper der Untersuchung zu Grunde lagen, auch der Kohäsionsverlust des Materials durch die 25-malige Frostwirkung in trockenem oder bei gleich alten Probekörpern, auch in wassersattem Zustande.

b. *Für tufföse Silikatgesteine, Thonsteinporphyre, sowie für sämtliche undichte, d. h. wasseraufsaugende Trümmergesteine, Dachschiefer, der Produkte der Thon- und Cementwarenindustrie.*

4 Stück ebenflächig und scharfkantig gearbeitete Würfel mit 7 cm Kantenlänge, oder ebensoviel in der 8-ter Form (Cementform) mit 5 cm^2 Bruchfläche gearbeitete Zugproben, oder sofern Zug- und Druckproben nicht erhältlich wären, 4 Stück Schroppen (unbearbeitete Scherben) von ca. 4—5 cm Seitenlänge, werden nach vorschriftsmässiger Wassersättigung (unter der Luftpumpe) 28 Tage unter Wasser gehalten, in der darauf folgenden Zeit täglich einer ca. 6 Stunden dauernden Frostwirkung von —15 bis 20° C ausgesetzt, in Kohlensäure gesättigtem Wasser aufgetaut und nach ca. 14-stündiger Dauer der Wassereinwirkung, einer 2-stündigen Einwirkung von Dämpfen einer gesättigten Lösung von schwefliger Säure ausgesetzt. Nach Verfluss dieser Zeit werden die Probekörper abgespült und für die Dauer einer Stunde in die Auftauflüssigkeit eingelegt. Das Verfahren wird 25-mal wiederholt. Soferne regelrecht gearbeitete Körper zu Grunde lagen, wird füglich auch bei dieser Versuchsart der *Kohäsionsverlust* des Materials nach der letzten Frosteinwirkung in trockenem Zustande festgestellt.

ι. Bestimmung des Gehalts an löslichen Salzen in Produkten der Thonwaren-Industrie.

Aus dem Innern von 5 beliebig ausgewählten, durch Wasser nicht berührten Steinen oder Dachziegel werden angenähert gleichgrosse Proben genommen, gepulvert, das gewonnene Mehl auf dem 900ter und 4900ter Normalsieb abgesiebt und das zwischen diesen Sieben verbleibende Mehl untersucht. 25 gr dieses Mehles werden mit 250 cm^3 destilliertem Wasser ausgelaugt, unter ungefährem Ersatz des verdampften Wassers eine Stunde lang gekocht, filtriert und gewaschen. Die Menge der vorhandenen löslichen Salze wird durch Eindampfen der Lösung und schwaches Glühen festgestellt und in Prozenten auf das Steingewicht berechnet. Der Rückstand wird nachträglich einer qualitativen Analyse unterworfen.

κ. Bestimmung des Gehalts an löschfähigen Körpern in Produkten der Thonwaren-Industrie.

Soferne nicht schon bei Einlieferung der zu prüfenden Produkte der Thonwaren-Industrie oberflächliche Abschieferungen das

Vorhandensein löschfähiger Körper (Kalk, Mergelknollen) erkennen lassen, werden 5 Stück der eingelieferten Muster ausgewählt, Mauersteine und Dachziegel gehälftet und die ausgewählten Stücke bezw. sämtliche Teilstücke in einem kleinen kupfernen, mit Sicherheitsventil ausgerüsteten Kessel derart eingebaut, dass sie vom Wasser unberührt bleiben. Hierauf wird der Kessel mit Wasser gefüllt, geschlossen, angefeuert und der gebildete Dampf während der Dauer von 3 Stunden ca. $^1/_2$ bis $^3/_4$ Atmosphäre Überdruck aktiv erhalten. Nach Verfluss dieser Zeit werden die Probekörper aus dem Dampfbade gehoben und ihre Oberflächenbeschaffenheit untersucht.

λ. Bestimmung der Härte und des Widerstandes gegen mech. Abnützung.

Die Härte und Widerstandsfähigkeitt gegen mechanische Abnützung einer Gesteinsart sind für die Beurteilung der Bearbeitungsfähigkeit und der Verwendbarkeit für spezielle Zwecke (Strassenpflaster, Mühlsteine etc.) von hoher Bedeutung. Die mineralogische Härtebestimmung nach der *Kritzmethode* mittelst der *Mohr'schen Skala* gewährt zwar ein bestimmtes Urteil über die Härte der einzelnen Mineralkomponenten, charakterisiert jedoch die durchschnittliche Härte und Widerstandsfähigkeit zusammengesetzter Gesteinsarten gegen Angriffe der Steinhauerwerkzeuge ebensowenig, als gegen andere mechanische Einwirkungen. Bei homogenen, aus einem Minerale bestehenden Gesteinsarten bleibt die *Kritzmethode* immer noch die sicherste und zuverlässigste Methode der Härtebestimmung. Von einer Härtebestimmung zusammengesetzter Gesteinsarten musste Umgang genommen werden.

Zur Prüfung des Widerstandes gegen mechanische Abnützung künstlicher und natürlicher Bausteine, Belagsplatten etc. dient Prof. *Bauschinger's* Schleifapparat unter Einhaltung des von ihm angegebenen Verfahrens. Der Apparat besteht im wesentlichen aus einer horizontalen, ca. 3,0 cm dicken, eben abgerichteten Gussscheibe mit 122 cm Durchmesser, welche auf einer oben angetriebenen Welle unwandelbar aufgekeilt sitzt. Am Gestelle, das zur Lagerung und Führung der Antriebswelle der Schleifscheibe und deren Antriebsmechanismen dient, sind in der Richtung des Halbmessers verstellbare, 2 gegenüberliegende Führungsrahmen angebracht, die mit ca. 3 mm Spielraum über der Schleifscheibe schweben und zur Aufnahme der Probekörper dienen. Zur Verhinderung des Schlotterns und Fortbewegung der Proben sind der Maschine 3

Garnituren gusseiserner Rähmchen beigegeben, die in die Führungsrahmen passend, gestatten, Probekörper mit 6 × 6 cm, 10 × 10 cm und 12 × 12 cm Schleiffläche einzulagern. Mittelst zweier, an den Führungsrahmen angebrachter Hebelvorrichtungen ist die Möglichkeit geboten, einen Druck bis auf absolut 30 kg auf den Probekörper auszuüben. Bei jeder 10-ten Umdrehung der Schleifscheibe ertönt ein Glockenschlag, während ein Tourenzähler die Anzahl der überhaupt vollführten Umdrehungen registriert.

Geschliffen wird bei konstantem Schleifbahnradius, welcher bis auf weiteres zu 50 cm angenommen wurde, mit Naxos-Schmirgel No. 3. Das Aufgeben des Schmirgels erfolgt aus 2 Trichtergefässen, die am Führungsrahmen der Probekörper angeschraubt, je einen von Hand beweglichen Drehschieber besitzen, dessen Höhlungen (Kammern) die vorgeschriebene Schmirgelmenge fassen und auf die Schleifbahnen zu entleeren gestatten. Die Drehbewegung der cylindrischen Schieber ist durch einen Anschlag in der Weise begrenzt, dass während der Einlassschlitz geöffnet ist, der Auslaufsschlitz geschlossen bleibt. Es muss also für jedesmaliges Aufgeben und Füllen der Schieberkammern auf und bis zum Anschlag zurückgedreht werden.

Zur Bedienung des Apparates gehören 2 Mann, die auf entgegengesetzten Seiten der Scheibe stehend damit beschäftigt sind, den Schmirgel auf die Schleifbahn des Probekörpers zuzustreichen, bezw. den verbrauchten abzustreichen und durch frischen zu ersetzen. Nach je 10 Touren kehrt nämlich abwechselnd der eine Gehülfe die Schleifbahn ab, während der andere aus dem Fülltrichter ca. 20 gr (genau 22 gr) frischen Schmirgel auf die Schleifbahn leert. Nach Verfluss der Hälfte der auszuführenden Umdrehungen findet, bei gleichzeitiger Drehung um 90°, ein Platzwechsel der eingelegten Proben statt.

Die Probekörper werden lufttrocken bis auf 0,1 gr genau gewogen, in die Maschine eingelegt, mit 30 kg bei harten, 20 kg bei weichen Steinen belastet, pro 10 Touren mit ca. 20 gr Schmirgel versehen und nach 200 Touren bei harten, nach 100 Touren bei weichen Steinen zurückgewogen. Das Mittel aus den Ergebnissen 3-er aufeinander folgender Schleifperioden wird als massgebender Durchschnitt angesehen und der Gewichtsverlust, umgerechnet auf cm^3, als Abnützung des Materials in Anschlag gebracht. Selbstredend müssen die Schleifflächen der Probekörper eben sein.

μ. Bestimmung der Durchlässigkeit von Dachsteinen.

Scherben künstlicher Dachsteine aller Art werden auf ca. 10 cm Kantenlänge behauen, getrocknet, gewogen, hierauf an den Rändern mit einem Wachsüberzug versehen. Auf diese Scherben werden cylindrische Rohrstutzen von 10 cm^2 lichtem Querschnitt mittelst Wachs aufgedichtet.

Beobachtet wird:

a. Die Temperatur und der Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre;

b. die Zeit während welcher 10 cm^3 Wasser einziehen, die mittelst einer Pipette in die Röhre eingebracht wurden;

c. die Zeit und die eingesogene Wassermenge bis zur Durchfeuchtung des Scherbens (Eintritt thauartiger Benetzung der untern Fläche);

d. die Zeit bis zum Eintritte ausgesprochener Tropfenbildung; und soferne ein Abtropfen eintritt

e. die bei einer Druckhöhe des Wassers im Rohre von ca. 1 cm in 10 Stunden durchgelassene (abgetropfte) Wassermenge.

ν. Bestimmung der Festigkeitsverhältnisse.

Natürliche und künstliche Bausteine, Dachschiefer, Dachziegel, Belags- und Bekleidungsplatten u. dgl. m. können im Anlieferungszustande, getrocknet (bis zum konstanten Gewicht) wassersatt, oder nach einer regelrechten Frost- oder der kombinierten Frost- und Wetterbeständigkeitsprobe in trockenem Zustande der Probe auf

Zugfestigkeit,
Druckfestigkeit,
Scherfestigkeit und
Biegefestigkeit

unterworfen werden. Für jeden Zustand des Materials und jede Richtung der Inanspruchnahme (bei natürlichen Bausteinen z. B. $\perp$ oder $\parallel$ zum Lager) sowie für jede Festigkeitsart sind bei natürlichen Bausteinen mindestens 4 vorschriftsmässig bearbeitete Muster, bei künstlichen Bausteinen in Normalformat, Dachziegeln, sowie Dachschiefern mindestens 10 Stück Probekörper erforderlich.

Probekörper der *Zugfestigkeit* erhalten gegenwärtig noch die bekannte 8-ter Form (Normalform der Cementproben) mit 5 cm^2 Bruchquerschnitt.

Probekörper der *Druckfestigkeit* natürlicher Bausteine sind würfelförmig; sie erhalten 7 cm Kantenlänge bei harten, 10 cm bei weichen Gesteinssorten. Die Würfel müssen ein und demselben Blocke oder Blöcken der gleichen Bank angehören, ebenflächig, scharfkantig gearbeitet sein und mit unverkennbar bezeichneten Lagerflächen eingeliefert werden.

Probekörper der *Druckfestigkeit* künstlicher Bausteine sind ebenfalls würfelförmig. Bei Prüfung der Druckfestigkeit des Materials an sich werden aus den Steinen Würfel mit möglichst grosser Kantenlänge herausgeschnitten. Bei gewöhnlicher Qualitätsbestimmung ganzer Gebrauchsstücke (in Normalformat) werden dieselben durch Sägen, ausnahmsweise auch durch Schrotten gehälftet und die zusammengehörigen Steinhälften mittelst eines ca. 0,5 cm starken Mörtelbandes aus reinem Portland-Cement zusammengekittet. Die so gewonnenen, würfelförmigen Probekörper erhalten ebenfalls ca. 0,5 cm starke Portland-Cementdeckel, welche nach angemessener Erhärtung, auf gusseisernen Richtplatten unter Anwendung feinen Quarzsandes oder Naxosschmirgels eben geschliffen werden. Die an sich schwierige Schleifarbeit thunlichst abzumindern, erfolgt das Auftragen der Deckel zwischen ebengehobelten, eisernen Platten, welche in einer Art Parallelschraubstock liegen und beim Anziehen der Stellschrauben ebene und parallele Druckflächen ergeben.

Zu *Scherproben* werden plattenförmige, 10 cm breite und, sofern nicht besondere Gründe zu Abweichungen zwingen, 4 cm dicke Probekörper verwendet.

Zu *Biegeproben* gelangen principiell ganze Gebrauchsstücke, wie Treppenstufen, Dohlendeckel, Platten, Dachziegel zur Anwendung; nur Dachschiefer werden auf 15 cm Breite geschnitten. Platten künstlicher Baustoffe irgendwelcher Art (z. B. Xylolith-Platten) erhalten bei 15,0 cm Breite 40 cm Dicke. Die *Länge* der Biegproben entspricht der Gebrauchslänge des Materials. Dachschiefer müssen mindestens 18 cm, Platten künstlicher Baustoffe irgend welcher Art mindestens 24 cm Länge erhalten. In besonderen Fällen finden über die Abmessungen der Biegeproben Vereinbarungen statt.

Zur Vornahme von *Zerreissproben* dient bei allen 8-terförmigen Probekörpern mit 5 cm^2 Bruchquerschnitt der sogenannte deutsche Normal-Zerreissapparat, System *Frühling, Michaëlis & Comp.* Die Konstruktion dieses Apparates geht aus der Abbildung Fig. 6 hinreichend klar hervor. Wir haben es hier mit einem Hebelwerk mit 1:50 Übersetzung zu thun, welche durch Aufhängen von Gewichten jederzeit kontrollierbar ist. Der Apparat ist in allen Teilen zu beweglich und vor allem zu schwach gebaut, ein Übelstand, der sich namentlich beim Zerreissen harter, kohärenter Körper dadurch störend bemerkbar macht, dass die Gewichtschale mit dem einlaufenden Schrot übermässig tief sinkt,

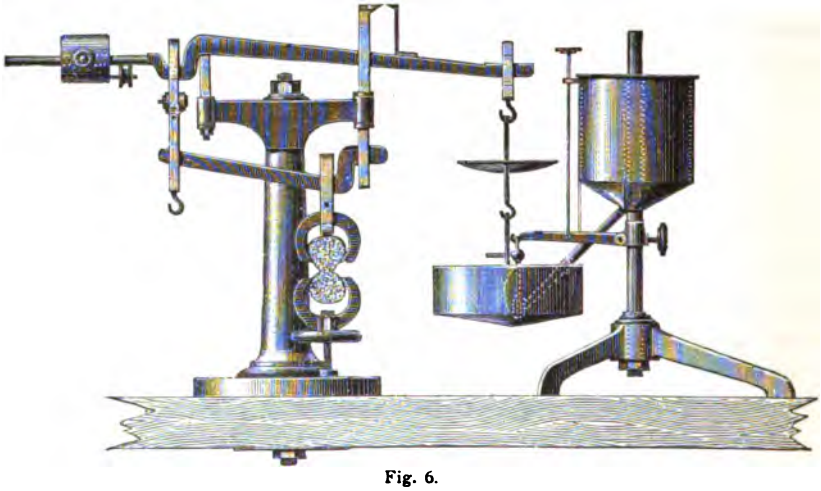


Fig. 6.

die Höhenlage der Schneiden die Normalstellung verlassen und die Gewichtsschale häufig aufsitzt.

Die Gewichtsschale unseres Apparates mit kegelförmigem Boden hängt unmittelbar unter der Auslauföffnung des Schrotbehälters, welcher, wie die Abbildung zeigt, derart konstruiert ist, dass im Momente des Reissens des Probekörpers die Schrotausflussöffnung durch die abfallende Gewichtsschale selbstthätig geschlossen und die nachfallende Schrotmenge auf ein Minimum gebracht wird. Neuerer Zeit benützen wir eine von *Le Chatelier*-Paris angegebene, automatische Abstellvorrichtung des Schroteinlaufs.

Ist der Apparat ausbalanciert, in welchem Zustande die Hebelschneiden in Horizontalebenen liegen, wird die Gewichtsschale eingehängt und der Probekörper centrisch zwischen die

Klauen eingelagert. Mittelst des Griffrädchens an der untern Klaue wird die Gewichtsschale hoch genommen und soweit über die Nullstellung erhöht, als beiläufig der Index im Augenblicke des Bruches unter die Gleichgewichtslage fällt. Nun wird der Schrotzulauf geöffnet, wobei pro Sekunde ca. 100 gr. feiner Vogelschrot in die Gewichtsschale fliessen. Ist der Bruch eingetreten, so hebt man die Gewichtsschale aus dem Apparate, und wiegt sie auf einer bereit stehenden Zeigerwage ab. Das in kg abgelesene Bruttogewicht der Gewichtsschale verzehnfacht giebt die gesuchte Zugfestigkeit des Probekörpers in kg bezogen auf 1,0 cm^2 seiner Querschnittsfläche, sofern die Bruchfläche der Probekörper 5 cm^2 betrug. In allen andern Fällen muss das Bruchgewicht (B) besonders erhoben und die Bruchfläche (F) ermittelt, die Zugfestigkeit nach der Formel

$$\beta = \frac{B}{F}$$

berechnet werden; wir drücken sie in kg, ausnahmsweise in t auf den cm^2 aus.

Zerreissproben mit Probekörpern von 100 und mehr cm^2 Bruchfläche erhalten ebenfalls 8-ter Form; die Köpfe der Proben gelangen, auf Bolzen gehängt, zwischen Laschen, welche in die *Werder*-Maschine passen. Mittelst dieser Maschine wird die Bruchkraft B in t oder kg festgestellt, welche nach vorstehender Formel zur Berechnung der specifischen *Zugfestigkeit* dient.

Zur *Vornahme der Druckproben* stehen in der schweizer. Materialprüfungs-Anstalt 4 verschiedene Maschinen zur Verfügung, von welchen je nach Zweck der Arbeit erforderlicher Genauigkeitsgrad und Kohäsionsverhältnissen des zu prüfenden Materials bald die eine, bald die andere Maschine in Anwendung gelangt.

Fig. 7 stellt die *Amsler*'sche Präcisionspresse für Kraftentfaltungen bis 1,8 t mit einer Skalenteilung von 5 zu 5 kg dar. Die Maschine dient zur Prüfung der Druckfestigkeit weicher Körper aller Art. Ferner dient die Maschine auch zur Ausführung von Biege- oder Bruchproben mit plattenförmigen Körpern der Kategorie künstliche und natürliche Bausteine bei einer Freilage von 15 bis 40 cm. In Fig. 7 ist fragliche Presse mit einem auf Biegung beanspruchten Dachziegel abgebildet.

Fig. 8 stellt den *schweiz. Normal-Druckapparat*, die *Amsler*'sche Presse für eine Kraftentfaltung von 20,0 t (gebaut wird

der Apparat neuerer Zeit für 30.0 t) mit einer Skalenteilung von 20 zu 20 kg dar. Die Maschine dient zur Vornahme von Druckproben mittelharter oder weicher Materialien mit grössern Querschnittsabmessungen der Probekörper.

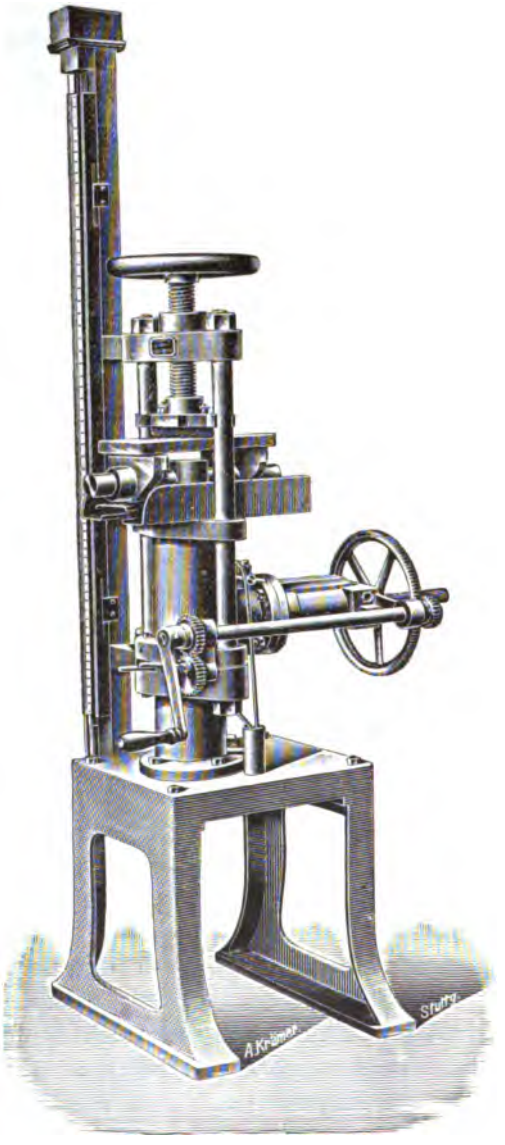


Fig. 7.

Zur Vornahme von Druckproben mit harten, kohärenten Materialien dient die *Werder*'sche Festigkeitsmaschine, neuester Zeit hauptsächlich die in Fig. 9 dargestellte 150-tonnige Presse, System *Amsler*. Die Einrichtungen der 100-tonnigen *Werder*-Maschine für Druckproben sind bekannt; die *Amsler*'schen Pressen sind es weniger, obschon sie weitaus die besten, zuverlässigsten Maschinen sind, die für Vornahme von Druckproben bisher gebaut wurden.

Weitläufigkeiten zu vermeiden, wollen wir uns an dieser Stelle auf die Beschreibung des schweiz. *Normal-Druckapparats* beschränken und bemerken, dass mit Ausschluss der *Werder*-Maschine unsere sämtlichen Pressen, also auch die 150 t-Presse, nach dem gleichen Prinzipe arbeiten.

Im wesentlichen besteht der schweiz. Normal-Druckapparat aus zwei vertikal übereinander gelagerten Cylindern, die durch

die beiden Zugstangen zusammengehalten werden. Im obern Cylinder sitzt, mit Spielraum eingeschliffen, der Presskolben. Behufs Füllung des oberen Cylinders mit Öl ist dieser vertikal durchbohrt, und ist die Bohrung für gewöhnlich mittelst einer horizontalen Schraube geschlossen. Das obere Ende des Presskolbens besitzt eine sphäroidale Vertiefung, eine Pfanne, die mit Öl gefüllt, zur Aufnahme der unteren Druckplatte dient. Mit dem kugelförmigen Unterteil sitzt diese Druckplatte in der genannten Pfanne. Die obere Druckplatte ist unwandelbar an der mit einem Griffrad versehenen Druckschraube befestigt. Am oberen Presscylinder befestigt sieht man die Antrittskurbel des Druckapparates. Das rückwertige Ende der Kurbelspindel trägt zwei Zahnräder, von denen das kleinere beim Hingange, das grössere beim Rückgange der zur Kurbelspindel parallel gelagerten Pressspindel sich in thätigem Eingriffe befindet.

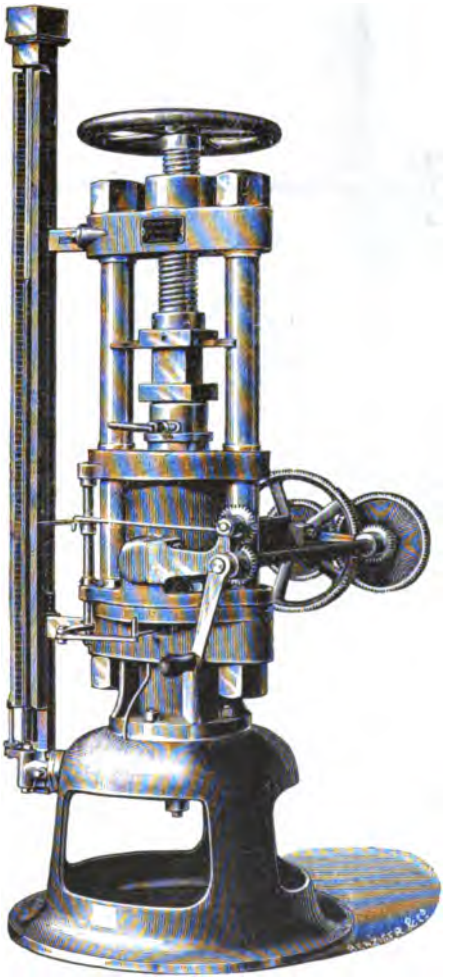


Fig. 8.

Der untere Presscylinder enthält den grossen Kolben des Differentialmanometers; der kleine Kolben dringt behufs Druckaufnahme durch den Boden in den oberen Presscylinder ein. Die Dichtung dieser Kolben ist selbstredend ebenfalls nach *Amagat's* Princip durchgeführt. Nahe am oberen Rande des unteren Cylinders sieht man, vergl. Fig. 8, eine kleine, rektanguläre Wanddurchbrechung, aus welcher ein mit dem kleinen Kolben des

Differentialmanometers fest verbundener Hebel hervorragt. Dieser Hebel dient zur Bewegung der die Kraft auf das Quecksilber übertragenden Differenzkolben. Bei der grossen Empfindlichkeit

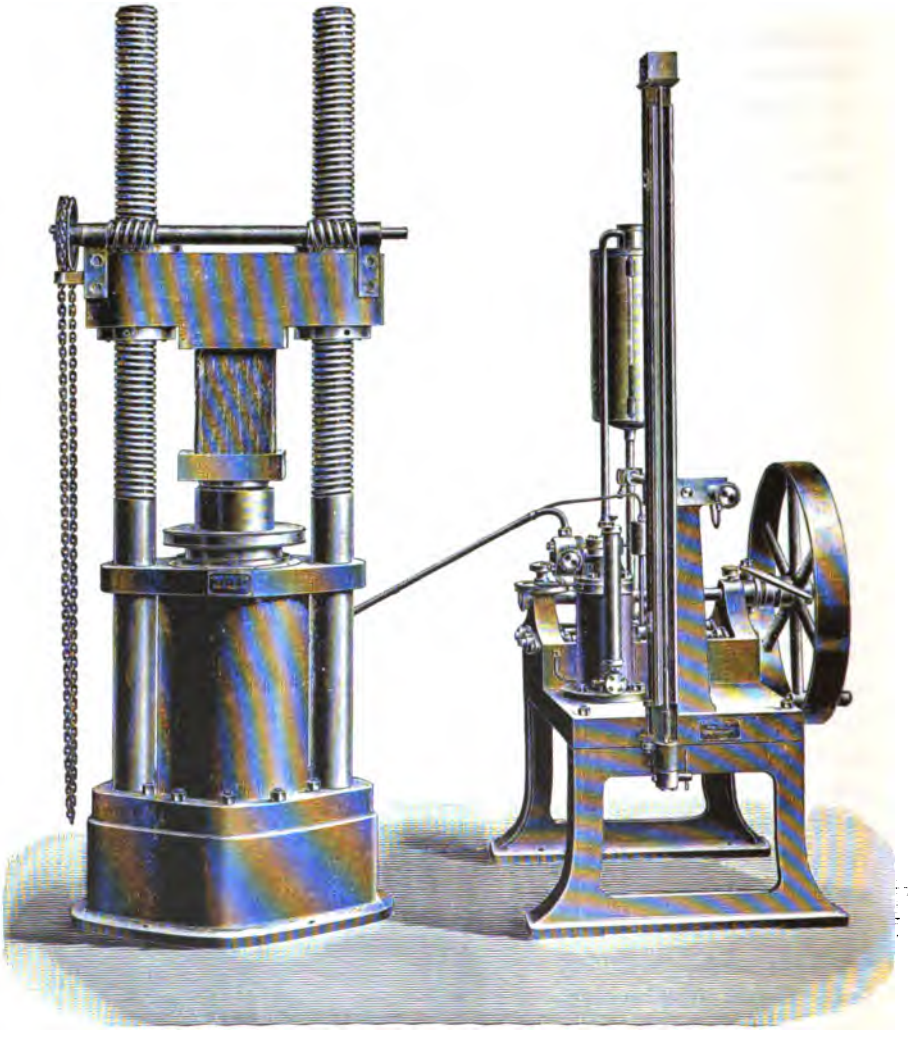


Fig. 9.

des Manometers erschien es nötig, diesen Hebel mittelst einer angemessenen Führung an die Kurbelwelle zu hängen, so dass er sich während des Versuches in Bewegung befindet, wodurch Reibung und Klebrigkeit der Flüssigkeit eliminiert werden.

Der Hohlraum des untern Presscylinders ist teilweise mit Quecksilber, im Übrigen ähnlich wie der Hohlraum des oberen Presscylinders, mit Glycerin bezw. mit nicht harzendem Maschinenöl gefüllt, welches nach Bedarf mittelst einer kleinen, seitlich am unteren Presscylinder befestigten Handpumpe eingebracht werden kann.

Durch ein eisernes Röhrchen steht der untere Presscylinder mit der lothrechten, auf einer Latte unwandelbar befestigten, ziemlich weiten Celluloidröhre des Manometers in Verbindung. Die Latte selbst ist getragen durch zwei an den Apparat angeschraubte Arme. Auf der Vorderseite dieser Latte schleift, durch eine kleine Mikrometerschraube verstellbar, eine zweite, die Teilungen tragende Latte. Der Nullpunkt der Teilung befindet sich unten und kann mittelst der genannten Mikrometerschraube auf den jeweiligen Stand des Quecksilbers im Glasrohre des Manometers eingestellt werden. In diesem Glasrohre wurde ein ausbalancierter eiserner Stabschwimmer angebracht. Der Faden, an welchem das Gleichgewicht des Schwimmers hängt, läuft über eine, am obern Ende der festen Latte ganz leicht gebremste kleine Rolle. Der leiseste Zug am Faden der Bremsbacke genügt, um den Stabschwimmer in eine langsame Abwärtsbewegung zu versetzen. Sitzt demnach der Schwimmer auf der Quecksilbersäule auf und man steigert den Druck im Apparate, so wird vermöge der gewählten Konstruktion der Stabschwimmer nahezu widerstandslos gehoben und bleibt an der erreichten, höchsten Stelle der Quecksilbersäule stehen, wenn der Druck absichtlich oder zu Folge Überwindung der Kohäsion des Materials eines Versuchskörpers plötzlich abnimmt, und die Quecksilbersäule zu sinken beginnt.

Der Arbeitsvorgang mit dieser Maschine ist der denkbar einfachste. Der Beobachter hat den Probekörper vor Augen, sieht die Veränderungen der Druckverhältnisse im Apparat, braucht keine Gewichte zu heben noch solche am Schlusse des Versuches zu addieren. Er ist der Mühe jeglicher Zwischen- und Endrechnungen enthoben, denn die Teilungen geben einerseits t absolut, andererseits direkt kg pro cm^2 der Querschnittsfläche des normal dimensionierten Druckkörpers an. Die zu einer Probe erforderliche Zeit schwankt mit der Festigkeit des Materials zwischen 1 und $1^1/_2$ Minuten.

Die bei Versuchsausführungen erforderlichen Manipulationen sind kurz die folgenden:

Einlagern des Probekörpers in den Apparat;

Ein- bis zweimaliges Hin- und Herbewegen des Differentialkolbens von Hand oder besser mittelst der Antriebskurbel;

Einstellen des Nullpunktes der Teilungen auf das Niveau der Quecksilbersäule bezw. auf den untern Rand des Schwimmers;

Anziehen der obern Druckplatte mittelst des Griffrades der Pressschraube;

Druckerteilung durch entsprechende Bewegung der Antriebskurbel;

Ablesen der gesuchten Druckfestigkeit des Materials;

Zurückführen der Pressspindel in die Ausgangsstellung durch die entsprechende Kurbelbewegung;

Entfernung der Bruchstücke des zermalmten Probekörpers.

Da sowohl der Presskolben als auch die Differentialkolben des Manometers in einer Ölsphäre stecken, tritt mit der Zeit ein kleiner Ölverlust in den Presscylindern auf. Das ausgestossene Öl fliesst in kleine, die verschiedenen Kolben umgebenden Rinnen und wird zentral in einem Blechgefäss gesammelt, um gelegentlich wieder benützt zu werden. Bei dem stark beanspruchten Apparate der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt findet etwa alle 14 Tage das Nachfüllen der Cylinder statt.

Biegeproben mit plattenförmigen Körpern geringer Kohäsion werden auf der in Fig. 7 dargestellten Presse ausgeführt. Für prismatische oder röhrenförmige Probekörper mit grösserer Festigkeit dient die *Werder*-Maschine, welche zur Messung der Formänderungen mit *Bauschingers* Gradbogenapparaten ausgerüstet ist.

o. Bestimmung der Qualitätsverhältnisse künstlicher oder natürlicher Bausteine und der verwandten Materialien.

Die Qualitäts- oder Gütebestimmung künstlicher oder natürlicher Bausteine und der verwandten Materialien ist von der Art ihrer Verwendung abhängig und hat sich Fall für Fall nach dieser zu richten. Die Anforderungen an ein Material wechseln mit der Art seiner Verwendung; sie sind andere im innern

Ausbau, andere für das Aussenmauerwerk im Hochbau oder für Mauerwerk im Wege- und Wasserbau.

Steinartige Materialien für den *inneren Ausbau* prüfen wir auf die äusseren Merkmale, Gewichtsverhältnisse, Wassersaugkraft, Durchlässigkeit bei Materialien für Abortschläuche, Wasserleitungen und Kanäle, Härte, Widerstandsfähigkeit gegen Abnützung und auf die Kohäsionsverhältnisse dieser Materialien in trockenem Zustande.

Steinartige Materialien für *Aussenmauerwerk*, für *Wege-* und *Wasserbauzwecke*, sowie Dachdeckmaterialien werden geprüft auf die äusseren Merkmale, Gewichtsverhältnisse, Porosität, Härte, Wassersaugkraft bezw. Wasserdurchlässigkeit, Gehalt an löschfähigen und löslichen Salzen bei Produkten der Thonwaren-Industrie, Frost- und Wetterbeständigkeitsverhältnisse, sowie auf die Kohäsionsverhältnisse:

a) in trockenem Zustande,
b) in wassersattem Zustande nach 28-tägiger Wasserlagerung,
c) » » » nach 24-maligem Wechsel von Gefrieren und Wiederaufthauen in Wasser von Lufttemperatur.

Zur Kennzeichnung des mutmasslichen Verhaltens eines steinartigen Materials unter unsern klimatischen Verhältnissen *im Freien*, verwenden wir die Abminderungsverhältnisse der Trockenfestigkeit durch die Wasser-, bezw. durch die kombinierte Wasser-Frosteinwirkung.

Bedeutet:

β_t in t/cm² die specifische Trockenfestigkeit des Materials bei einer Inanspruchnahme auf Zug, Druck und Biegung;
β_n in t/cm² die gleichartige Nassfestigkeit des Materials nach 28-tägiger Wasserlagerung;
β_n^* in t/cm² desgleichen, jedoch nach 24-maliger Frostwirkung,

so wird in Abänderung der früher gewählten Schreibweise und Bezeichnung, der Grad des *Erweichens des Materials* in Wasser durch den

$$\textit{Erweichungs-Koeffizient:}\quad \varkappa = \frac{\beta_t}{\beta_n},$$

der Grad des *Kohäsionsverlustes durch die kombinierte Wasser-Frostwirkung* durch den s. g.

$$\textit{Beständigkeits-Koeffizient:}\quad \varkappa^* = \frac{\beta_n^*}{\beta_t}$$

ausgedrückt. Die Grösse des ersteren schwankt zwischen Zahlenwerten, die sich ihrem Grösstwerte desto mehr nähern,

je grösser der Einfluss des Wassers und des Frostes auf die Lockerung des Zusammenhangs des Materials gewesen ist, d. h. je geringer die Widerstandsfähigkeit also je geringer die Beständigkeit des Materials an und für sich ist.

Der s. g. *Beständigkeits-Koeffizient* ist lediglich nur eine verschärfte Form des Erweichungs-Koeffizienten und gestattet einen jenem ähnlichen, doch sicheren Schluss auf das mutmassliche Verhalten eines steinartigen Materials unter unsern klimatischen Verhältnissen im Freien, denn die Erfahrung lehrt, dass:

1. *künstliche und natürliche Bausteine und verschiedene der verwandten Materialien,* die eine weitgehende Erweichung im Wasser erfahren, in der Frostprobe auch ohne sichtbare Ablösungen zu zeigen, eine weitgehende Schwächung und Lockerung des Gefüges erleiden, *frostunbeständig* sind. Hiebei bleibt zu merken, dass
2. *künstliche und natürliche Bausteine auch ohne weitgehende Erweichungsfähigkeit im Wasser frostunbeständig sein können.* Es ist daher im allgemeinen nicht statthaft, steinartige Materialien mit einer unwesentlichen Erweichungsfähigkeit im Wasser als unbedingt frostfest zu bezeichnen; dass
3. *künstliche und natürliche Bausteine und diejenigen der verwandten Materialien,* die keine Wassersaugkraft (Wasseraufnahmsfähigkeit) besitzen, frostfest sind, denn soll ein Material durch die Expansion des Wassers beim Übergang von flüssiger in feste Aggregatform Schaden nehmen, so muss dasselbe vorangehend nicht nur eine Wasseraufnahme, sondern eine Wassersättigung seiner Poren erfahren haben. Endlich bleibt zu erwähnen, dass
4. *Erweichungs- und Beständigkeits-Koeffizienten lediglich blos auf die Frostfestigkeit eines Materials Bezug haben,* denn unter den Einflüssen der Atmosphärilien, insbesondere des Wassers und der Säuren der Atmosphäre, Materialien auch ohne ursprüngliche Saugkraft, also auch ohne Erweichungsfähigkeit, derartige Veränderungen erleiden können, dass durch sie die ursprüngliche Frostfestigkeit teilweise, oft weitgehend aufgehoben werden kann. (Vergl. in dieser Hinsicht Ste. 61 des vorliegenden Heftes). Das Material fällt hier unter die Gesichtspunkte, deren Inbegriff man als *Wetterbeständigkeit* bezeichnet.

III. Resultate der Untersuchung der künstlichen Bausteine.

1. Resultate der Untersuchung der Beziehungen zwischen der Brandfarbe und der chemischen Zusammensetzung des Materials.

(Bezüglich Farbe und Bezeichnung der Farbtöne vergleiche die beigehefteten Tafeln I, II, III und IV.)

Die nummerierten, als Muster aufgeführten Proben der nachstehenden Tabellen sind im Gasofen der Materialprüfungs-Anstalt gebrannt. Wir haben daher diese Muster besonders behandelt und beim Mittelziehen in das Zahlenmaterial der fabrikmässig gebrannten Steine nicht eingeflochten.

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe: Bezeichnung der Farbe	Brandfarbe: Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbskala	
		Schwarz (gedämpft?)				
1	1895	Utzschneider & Jaunez, Saargemünd	Belagsplatte	Schwarz	No. 1	schwarz
2	1895	Backsteinfabrik, Eymatt	Dachziegel	»	»	»
3	1895	» » »	»	»	»	»
4	1895	» » »	Lochstein	»	»	»
						Im Mittel:
		Violettbraun.				
5	1895	Thonwerke Lauban	Verblender	naturbr.	No. 3	violettbraun
		Braunrot.				
6	1895	Fr. Hoffmann, Siegersdorf	Verblender	rotbraun	No. 5	braunrot
		Hausrot I.				
7	1895	Fr. Hoffmann, Siegersdorf	Verblender	dunkelrot	No. 6	hausrot I
8*)	1895	Utzschneider & Jaunez, Saargemünd	Belagsplatte	blutrot	»	»
9	1895	Tuilerie Ed. Dutoit, Jvonand	Hohlstein I	rot	»	»
						Im Mittel:
		Hausrot II.				
10	1895	Theresia Grube, Hermühlheim b. Köln	Verblender	rotbraun	No. 7	hausrot II
11	1895	Thonwerke Lauban	»	rot, 2	»	»
12	1895	Ziegelei Ersigen b. Burgdorf	Lochstein	rot	»	»
13	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	Verblender †	»	»	»
14	1895	Thonwarenfabrik, Laufen	»	»	»	»
15	1895	Backsteinfabrik, Eymatt	»	»	»	hausrot I
16	1895	Hilfiker-Hüssy, Köllikon	Hohlstein	»	»	»
17	1895	G. A. Bourry & Comp., Horn	Verblender	blutrot †	»	»
						Im Mittel:

*) Beim Mittelziehen unberücksichtigt; Material scheint künstlich gefärbt.
†) Einzelnes Muster.

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe, dividiert durch Summe des Flussmittels	$\frac{CaO}{Fe_2O_3}$
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
Schwarz (gedämpft?)										
50,52	22,20	4,14	18,65	2,37	0,59	0,67	0,86	98,74	3,79	4,51
69,36	17,09	4,84	2.06	2,19	0,32	0,91	3,23	98,77	8,02	0,42
71,06	16,33	4,33	1,40	1,94	Spur	0,18	4,76	99,82	8,03	0,32
71,15	16,69	3,81	8,23	2,32	0,42	0,44	1,94	99,14	6,08	2,16
65,52	16,83	4,28	7,58	2,21	0,33	0,55	2,70	99,12	6,48	1,85
Violettbraun.										
71,54	19,00	4,03	0,46	0,98	Spur	0,18	3,81	99,82	10,76	0,17
Braunrot.										
74,01	15,49	5,67	—	1,10	Spur	0,12	3,61	99,88	9,62	0,00
Hausrot I.										
72,96	15,97	5,56	—	1,08	Spur	0,19	4,24	99,81	9,17	0,00
48,10*	20,09*	7,04*	20,38*	2,55*	0,32*	0,62*	0,90*	—	—	—
67,07	17,12	6,98	1,33	2,84	Spur	0,23	4,43	99,77	6,40	0,19
70,02	16,55	6,27	0,67	1,96	Spur	0,21	4,34	99,79	7,79	0,10
Hausrot II.										
76,25	15,06	4,77	1,00	0,93	0,64	0,22	1,33	99,14	12,35	0,21
70,86	20,03	3,43	0,26	0,97	Spur	0,09	4,36	99,91	11,08	0,08
75,33	12,53	5,33	1,47	1,58	Spur	0,31	3,45	99,69	8,43	0,28
70,57	15,78	5,75	2,93	2,59	0,19	0,49	1,70	99,32	7,66	0,51
71,00	16,49	8,21	1,87	1,74	0,03	0,26	0,40	99,71	8,16	0,23
76,45	15,00	3,73	1,17	1,94	0,10	0,37	1,24	99,53	12,32	0,32
70,67	16,90	5,67	1,37	2,08	0,16	0,27	2,88	99,57	8,29	0,24
78,25	12,95	3,51	1,90	1,45	0,27	0,20	1,47	99,53	11,95	0,54
73,67	15,59	5,05	1,49	1,66	0,17	0,27	2,10	99,55	10,03	0,30

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe		
				Bezeichnung der Farbe	Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbskala	
		Hausrot III.				
18	1895	Thonwerke Lauban	Verblender	rot, 5	No. 8	Hausrot III
19	1895	Tuilerie méc. de Lentigny	Dachziegel	rot	»	»
20	1895	Zbinden frères, Payerne	Lochstein	»	»	»
21	1895	» » »	Hohlstein	»	»	»
22	1895	Curchod, Barraud et Comp., Bussigny	Lochstein	dunkelrot	»	»
23	1895	» » » »	Vollstein	»	»	»
24	1895	König & Co., Ziegelei, Glockenthal	Dachziegel	rot	»	»
25	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	Verblender	»	»	»
26	1895	Thonwarenfabrik, Laufen	Dachziegel	»	»	»
27	1895	Backsteinfabrik, Eymatt	Vollstein	»	»	»
28	1895	J. Weibel, Ziegelei, Landquart	Dachziegel	»	»	»
29	1895	Hilfiker-Hüssy, Köllikon	Lochstein	»	»	»
30	1896	Curchod, Barraud & Comp., Bussigny	Muster 59	»	»	»
31	1896	» » » »	» 82	»	»	»
32	1896	Reussen Vinzel	» 79	»	»	»
				Mittel von No. 18—29:		
				Mittel von No. 30—32:		
		Ziegelrot I, dunkel.				
33	1897	Hess und Söhne, Weiblingen	Dachziegel	rot	No. 9	ziegelrot I, dunkel
34	1895	Ph. Holzmann, Frankfurt	Verblender	kirschrot	»	»
35	1895	Tuilerie Ed. Dutoit, Jvonand	Vollstein	rot	»	»
36	1895	F. Kenel & Comp., Moutier	Dachziegel	rot	»	»
37	1895	Société technique, Neuchâtel	»	»	»	»
38	1895	Curchod, Barraud et Comp., Bussigny	»	dunkelrot	»	»
39	1895	» » » »	»	»	»	»
40	1895	Sâvary et fils, Briqueterie, Faoug	»	»	»	»
41	1895	» » » »	»	»	»	»
42	1895	Sl. Suter, Ziegelei, Hallwyl	»	»	»	»
43	1895	C. A. Suter, Ziegelei, Frick	»	»	»	»
44	1895	Tuilerie Ed. Dutoit, Jvonand	Muster 129	»	»	»
				Mittel von No. 33—43:		

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe, dividiert durch Summe des Flussmittels	$\frac{CaO}{Fe_2O_3}$
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
Hausrot III.										
70,38	19,79	5,04	0,53	1,15	Spur	0,27	2,84	99,73	10,43	0,11
64,93	16,94	6,72	1,26	3,45	»	0,49	6,21	99,51	5,65	0,19
72,69	14,58	4,49	1,72	2,18	0,09	0,30	3.95	99,61	8,07	0,38
72 97	11,63	4,20	5,76	1,79	0,16	1,07	2,45	98,77	6,95	1,37
68,32	14,93	7,49	1,03	3,28	Spur	0,38	4,57	99,62	6,09	0,14
68,14	15,32	7,23	2,07	3,48	»	0,34	3,42	99,66	6,15	0,29
63,25	15,03	4,63	9,40	2,37	»	0,71	4,21	99,29	4,82	2,03
79,80	12,31	3,06	2,77	1,13	0,14	0,34	0,45	99,52	13,41	0,91
61,41	17,30	4,03	7,66	2,76	0,56	0,50	5,78	98,94	4,89	1,90
76,18	11,89	4,41	2,63	1,50	0,09	0,18	3,12	99,73	8,55	0,60
49,94	23,89	6,94	15,50	2,74	0,20	0,23	0,52	99,57	3,87	2,23
70,13	16,39	6,54	1,20	1,63	0,31	0,65	3,15	99,04	7,91	0,18
70,53	16,87	5,93	1,19	1,63	1,32	—	2,53	98,68	8,75	0,20
69,37	16,72	7,04	1,03	2,46	0,70	—	2,68	99,30	7,52	0,15
61,83	20,65	8,14	4,35	2,41	1,05	—	1,57	98,95	6,01	0,53
68,18	15,83	5,40	4,29	2,29	0,13	0,45	3,39	99,42	7,23	0,86
67,24	18,08	7,04	2,19	2,17	1,02	—	2,26	98,98	7,43	0,29
Ziegelrot I, dunkel.										
73,32	16,26	4,28	2,40	1,76	0,80	0,31	0,87	98,89	10,62	0,56
74,45	15,09	4,77	0,66	1,23	Spur	0,28	3,52	99,72	9,80	0,14
67,42	17,17	7,16	1,20	2,90	»	0,30	3,85	99,70	6,60	0,17
57,21	15,68	7,67	13,10	3,16	0,13	0,48	2,57	99,39	3,75	1,71
73,25	14,39	3,03	2,77	1,54	0,60	Spur	4,42	99,40	8,45	0,91
65,05	16,04	7,61	2,82	3,70	Spur	0,53	4,25	99,47	5,41	0,37
66,16	18,38	6,47	2,30	3,00	»	0,40	3,29	99,60	6,61	0,36
73,77	14,26	4,34	1,93	2,02	»	0,37	3,31	99,63	8,59	0,44
71,84	18,04	4,19	1,50	1,51	0,57	0,53	1,82	98,90	10,96	0,35
70,21	18,84	5,23	1,00	1,22	Spur	0,27	3,23	99,73	9,34	0,19
70,16	18,71	5,15	2,20	1,08	0,29	0,57	1,84	99,14	9,65	0,43
67,24	18,91	4,90	2,18	2,18	0,72	—	3,87	99,28	7,56	0,44
69,35	16,62	5,45	2,90	2,10	0,22	0,37	3,00	99,42	8,16	0,51

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe		
				Bezeichnung der Farbe	Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbskala	
		Ziegelrot II.				
45	1895	Ph. Holzmann, Frankfurt	Verblender	rot	No. 10	ziegelrot, II
46	1895	Tuilerie Ed. Dutoit, Jvonand	Dachziegel	»	»	»
47	1895	Chr. Gasser, Peyres et Possens	»	»	»	»
48	1895	Société anonyme Quadri, Couvet	»	»	»	»
49	1895	Ziegelei Ersigen bei Burgdorf	Lochstein	»	»	»
50	1895	Ziegelei F. Brand, Grünenmatt	Dachziegel	»	»	»
51	1895	Dampfziegelei Heuriet, Zürich	Lochstein	»	»	»
52	1895	J. J. Keller, Ziegelei, Teufen	»	»	»	»
53	1895	Backsteinfabrik, Eymatt	Dachziegel	»	»	»
54	1895	Hilfiker-Hüssi, Köllikon	»	»	»	»
55	1895	» » »	»	»	»	»
56	1895	H. Meyer, Ziegelei, Uelisbach	Lochstein	»	»	»
57	1895	» » »	Dachziegel	»	»	»
58	1896	L. Favre, Tuilerie, Etoy	Muster 85	»	»	»
59	1896	Société anonyme Quadri, Couvet	» 123	»	»	»
				Mittel von No. 45—57:		
				Mittel von No. 58—59:		
		Ziegelrot III, feurig.				
60	1896	Société anonyme Quadri, Couvet	Muster 119	rot	No. 11	ziegelr. III, feurig
		Ziegelrot IV, leuchtend.				
61	1895	Ph. Holzmann, Frankfurt	Verblender	gelbl.-rot	No. 12	ziegelr. IV, leucht.
62	1897	J. Baumann, Göppingen	Dachziegel	»	»	» »
63	1895	Société anonyme Quadri, Couvet	Vollstein	rot	»	» »
						Im Mittel:
		Rostfarbig.				
64	1895	Ziegelei Ersigen b. Burgdorf	Dachziegel	rostrot	No. 13	rostfarbig
65	1895	Dampfziegelei Heuriet, Zürich	»	»	»	»
66	1895	Backsteinfabrik, Eymatt	Lochstein	»	»	»
67	1895	E. Brandenberg, Ziegelei, Zug	»	»	»	»
68	1895	J. E. Baumer, Rheinfelden	»	»	»	»
69	1895	J. Weibel, Ziegelei, Landquart	Hohlstein	»	»	»
						Im Mittel:

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe, dividiert durch Summe des Flussmittels	$\frac{CaO}{Fe_2O_3}$
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
					Ziegelrot II.					
74,36	16,47	3,73	0,66	1,23	Spur	0,28	3,27	99,72	11,22	0,18
68,14	17,14	6,80	1,38	2,26	»	0,59	3,69	99,41	7,04	0,20
73,11	14,43	4,68	1,04	1,60	»	0,53	4,61	99,47	8,34	0,22
68,13	14,98	7,02	3,40	1,87	0,42	1,00	3,18	98,58	6,37	0,48
75,33	12,53	5,33	1,47	1,58	Spur	0,31	3,45	99,69	8,43	0,28
74,87	14,25	3,10	1,25	1,54	»	0,41	4,98	99,59	9,15	0,40
70,76	15,11	6,59	2,13	2,24	0,24	0,32	2,61	99,44	7,33	0,32
73,15	13,80	4,49	5,16	2,15	0,16	0,43	0,66	99,41	7,97	1,15
69,46	16,93	5,07	1,90	1,99	Spur	0,31	4,34	99,69	7,49	0,37
70,39	16,70	5,97	1,67	2,02	0,03	0,22	3,00	99,75	7,88	0,28
70,55	16,78	5,82	1,87	2,20	0,18	0,26	2,34	99,56	8,14	0,32
73,44	14,00	5,67	2,30	2,03	0,22	0,56	1,78	99,22	8,42	0,41
73,19	13,27	5,53	3,67	2,16	0,22	0,41	1,55	99,37	7,70	0,66
69,24	18,32	5,23	1,92	2,04	1,06	—	2,19	98,94	8,69	0,37
63,79	19,24	6,40	5,68	2,01	0,93	—	1,95	99,07	6,18	0,89
71,91	15,11	5,37	2,15	1,91	0,11	0,43	3,03	99,45	8,11	0,33
66,52	18,78	5,81	3,80	2,02	1,00	--	2,07	99,00	7,43	0,63
					Ziegelrot III, feurig.					
76,36	12,67	4,93	0,97	1,06	0,70	—	3,31	99,30	9,67	0,20
					Ziegelrot IV, leuchtend.					
73,78	15,71	4,62	0,80	1,89	Spur	0,20	3,00	99,80	9,68	0,17
66,57	22,39	6,39	1,98	1,52	0,52	0,51	0,12	98,97	9,89	0,31
68,93	14,28	6,05	4,67	2,16	0,20	1,09	2,62	98,71	6,37	0,77
69,76	17,46	5,69	2,48	1,86	0,24	0,60	1,91	99,16	8,65	0,42
					Rostfarbig.					
76,47	13,61	3,39	1,61	1,61	Spur	0,29	3,02	99,71	10,35	0,47
66,85	16,67	5,83	4,46	3,45	»	0,42	2,32	99,58	6,20	0,76
72,61	13,22	3,58	3,63	1,94	0,55	1,45	3,02	98,00	8,05	1,01
77,31	13,21	3,76	1,40	2,17	0,24	0,27	1,64	99,49	11,09	0,37
66,73	13,92	7,11	7,10	1,92	0,34	0,31	2,57	99,35	5,31	1,00
52,08	24,55	6,42	9,10	3,11	0,21	0,29	4,24	99,50	4,35	1,42
68,67	15,86	5,01	4,55	2,37	0,22	0,51	2,80	99,27	7,56	0,84

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe: Bezeichnung der Farbe	Brandfarbe: Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbskala	
		Lederfarbig I, dunkel.				
70	1895	G. Kuntze, Süssen	Verblender	lederf., dunkel	No. 14	lederf. dunkel
71	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	Dachziegel	lederfarbig	»	»
72	1895	Mech. Ziegelfabrik Albishof, Zürich	Lochstein	rot	»	»
73	1895	» » »	Dachziegel	»	»	»
74	1895	Widmer u. Wunderli, Richtersweil	»	»	»	»
75	1895	Joh. Weder, mech. Ziegelei, Heiden	»	»	»	»
76	1895	Gebr. Moser, Ziegelei, Schüppach	Vollstein	»	»	»
77	1895	» » » »	Lochstein	»	»	»
78	1895	» » » »	Dachziegel	»	»	»
79	1895	E. Brandenberg, Ziegelei, Zug	Lochstein	»	»	»
80	1896	Société anonyme Quadri, Couvet	Muster 117	—	»	»
				Mittel von No. 70—79:		
		Lederfarbig II.				
81	1895	G. Kuntze, Süssen	Verblender	mittl. Lederf.	No. 15	lederfarb. II
82	1895	Noppel & Co., Ziegelfab. Emmishofen	Dachziegel	?	»	»
83	1896	F. Kenel & Comp., Moutier	Muster 70	—	»	»
84	1896	Société anonyme Quadri, Couvet	» 109	—	»	»
85	1896	» » » »	» 121	—	»	»
86	1896	» » » »	» 122	—	»	»
87	1896	» » » »	» 124	—	»	»
88	1896	» » » »	» 125	—	»	»
89	1896	» » » »	» 126	—	»	»
				Mittel von No. 81—82:		
				Mittel von No. 83—89:		
		Lederfarbig III, stumpf.				
90	1896	Société anonyme Quadri, Couvet	Muster 116	—	No. 16	lederfarb., stumpf
		Lederfarbig IV, hell.				
91	1895	Fr. Hoffmann, Siegersdorf	Verblender	dunkelgelb	No. 17	lederfarb., hell
92	1895	Ph. Holzmann, Frankfurt	»	dunkle Lederf.	»	»
93	1895	Tuilerie F. Marendaz, Mathod	Dachziegel	gelb	»	»
94	1896	Société anonyme Quadri, Couvet	Muster 127	—	»	»
				Mittel von No. 91—93:		

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe dividiert durch Summe des Flussmittels	$\frac{CaO}{Fe_2O_3}$
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
Lederfarbig I, dunkel.										
74,50	16,02	3,58	0,86	1,24	0,57	0,39	2,78	99,04	11,70	0,24
58,94	17,47	4,33	8,33	4,52	Spur	0,44	5,97	99,56	4,30	1,93
67,04	14,57	6,20	5,03	2,42	0,30	0,66	3,78	99,04	5,68	0,82
64,30	15,86	5,07	7,66	3,79	Spur	0,64	2,68	99,36	5,17	1,51
66,40	11,60	4,33	7,73	2,86	0,45	0,90	5,73	98,65	4,77	1,79
69,96	15,16	5,37	3,43	2,16	Spur	0,50	3,42	99,50	6,92	0,64
73,89	13,58	4,85	2,60	1,26	0,23	0,51	3,08	99,26	8,42	0,54
76,39	11,59	4,21	1,90	1,83	0,50	0,31	3,27	99,19	8,85	0,45
75,14	13,21	5,22	1,40	2,04	0,37	0,33	2,29	99,30	9,07	0,27
73,90	14,56	4,74	1,67	3,39	0,22	0,31	1,21	99,47	9,03	0,35
65,55	16,56	6,76	3,80	1,70	0,41	—	5,22	99,59	5,70	0,56
70,05	14,36	4,79	4,06	2,55	0,26	0,50	3,42	99,24	7,39	0,85
Lederfarbig II.										
74,22	16,55	2,91	0,86	1,48	Spur	0,24	3,74	99,76	11,10	0,30
67,52	15,06	3,74	8,76	3,89	0,29	0,78	0,00	98,93	6,04	2,44
60,19	20,28	6,16	5,73	3,52	0,34	—	3,78	99,66	5,20	0,92
66,29	20,41	5,21	1,31	2,30	0,11	—	4,37	99,89	7,57	0,25
62,96	17,86	5,02	9,16	2,21	0,89	—	1,90	99,11	5,42	1,82
61,81	20,47	5,81	6,20	2,77	0,28	—	2,66	99,72	5,72	1,07
53,90	17,49	5,63	15,21	5,80	0,66	—	1,31	99,34	3,56	2,70
63,68	18,22	4,82	8,87	2,71	0,65	—	1,05	99,35	5,69	1,84
56,97	16,28	4,14	19,34	2,77	0,24	—	0,26	99,76	3,78	4,67
70,87	15,81	3,33	4,81	2,69	0,15	0,51	1,87	99,34	8,57	1,37
60,83	18,72	5,25	9,40	3,15	0,45	—	2,19	99,55	5,28	1,90
Lederfarbig III, stumpf.										
54,62	17,96	7,18	12,89	2,88	0,57	—	3,90	99,43	3,70	1,80
Lederfarbig IV, hell.										
77,08	15,42	2,98	—	1,03	Spur	0,41	3,08	99,59	14,05	0,00
73,16	19,62	2,68	0,40	1,27	»	0,18	2,69	99,82	14,18	0,15
54,41	15,78	7,19	13,17	5,42	»	0,45	3,58	99,55	3,39	1,82
62,85	18,74	3,93	7,77	2,43	2,46	—	1,82	97,54	6,12	1,98
68,22	16,94	4,28	4,52	2,57	Spur	0,35	3,12	99,65	10,54	0,66

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe: Bezeichnung der Farbe	Brandfarbe: Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbenskala	
		Fleischfarb I				
95	1895	Fr. Hoffmann, Siegersdorf	Verblender	mittl. Lederf.	No. 18	fleischfarb I.
96	1895	Thonwerke Lauban	»	rosa Leder	»	»
97	1895	König & Co., Ziegelei, Glockenthal	Lochstein	—	»	»
98	1895	Savary et fils, briqueterie, Faoug	Dachziegel	—	»	»
99	1895	G. A. Bourry & Co., Horn	»	dunkelbiscuit	»	»
100	1895	» » » » »	»	hellbiscuit	»	»
101	1895	Société technique, Neuchâtel	Vollstein	rosa	»	»
102	1895	v. Gunten, Gebr., Ziegelei, Uettligen	Dachziegel	biscuit	»	»
103	1895	Tuilerie H. Pillichody, Yverdon	Hohlstein	—	»	»
104	1895	Zäch, Gebr., mech. Ziegelei, Oberriet	Lochstein	—	»	»
105	1896	Gasser, Chr., Peyres-Possens	Muster 77			
106	1896	» » »	» 78			
				Mittel von No. 95—104:		
				Mittel von No. 105—106:		
		Fleischfarb I b (I bis III)				
107	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	Dachziegel	dunkelbiscuit	No. 18b	fleischfarb I—II
108	1895	Mech. Ziegelfabrik, Albishof, Zürich	»	»	»	»
109	1895	Weibel, J., Ziegelei, Gloten-Struach	»	»	»	»
110	1895	Ganz, Alfr., Embrach	»	»	»	»
111	1895	Bälliger, J., Ziegelei, Dietikon	»	»	»	»
112	1895	Luchsinger & Hüni, Ziegelei, Oberriet	»	»	»	»
113	1895	Zäch, Gebr., mech. Ziegelei, Oberriet	»	»	»	»
114	1895	Schmidheiny, J., Ziegelei, Kronbühl	»	»	»	»
115	1895	Baumer, J. E., mech. Ziegelei, Rheinfelden	»	»	»	»
116	1896	Tuilerie Fauquet, Bovaix	Muster 147	»	»	»
				Mittel von 107—115:		

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe dividiert durch Summe des Flussmittels	CaO / Fe_2O_3
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
					Fleischfarb I					
75,24	17,76	2,36	—	0,76	Spur	0,22	3,66	99,78	14,72	0,00
73,61	17,62	4,18	0,30	0,92	»	0,62	3,25	99,38	11,49	0,07
65,84	13,21	5,52	7,43	3,50	»	0,34	4,16	99,66	4,84	1,35
73,77	14,26	4,34	1,93	2,02	»	0,37	3,31	99,63	8,59	0,44
68,39	10,33	4,10	12,59	2,07	0,16	0,28	2,08	99,56	4,78	3,07
71,01	10,08	2,58	11,69	2,29	Spur	0,38	1,97	99,62	5,38	4,53
71,25	16,09	4,60	2,07	1,49	0,20	0,36	3,94	99,44	8,22	0,45
67,76	15,18	4,48	4,46	6,24	Spur	0,40	1,48	99,60	5,99	1,00
56,99	15,37	8,43	11,69	3,40	0,32	0,81	2,99	98,87	3,73	1,38
61,10	19,23	6,57	7,27	2,19	0,18	0,57	2,89	99,25	5,24	1,11
67,73	19,18	5,17	0,76	1,91	0,64	—	4,61	99,36	7,98	0,15
75,39	14,31	3,39	0,92	0,51	0,57	—	4,91	99,43	10,22	0,27
68,50	14,91	4,72	5,94	2,49	0,09	0,43	2,97	99,48	7,30	1,34
71,56	16,75	4,28	0,84	1,21	0,60	—	4,76	99,40	9,10	0,21
					Fleischfarb Ib (I bis II)					
64,17	15,33	4,86	8,80	4,21	Spur	0,69	1,94	99,31	5,01	1,81
58,38	14,86	5,74	12,20	5,02	»	0,52	3,28	99,48	3,78	2,13
72,05	9,70	4,03	9,06	2,28	0,39	0,41	2,08	99,20	5,68	2,25
68,40	12,02	4,18	8,60	3,26	0,41	0,66	2,47	98,93	5,34	2,06
69,58	14,88	4,78	2,66	2,28	Spur	0,52	5,30	99,48	6,62	0,56
59,86	22,00	5,07	7,76	2,28	0,18	0,64	2,21	99,18	5,73	1,53
63,81	21,24	6,42	2,66	2,06	Spur	0,31	3,50	99,69	6,81	0,42
59,92	19,23	6,77	6,56	2,02	0,22	0,72	4,56	99,06	4,98	0,97
74,28	14,98	6,88	1,23	1,10	0,04	0,98	0,51	98,98	10,18	0,18
73,91	15,18	3,88	1,41	0,56	0,54	—	4,52	99,46	9,59	0,36
65,61	16,03	5,41	6,61	2,72	0,14	0,61	2,87	99,26	6,01	1,32

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe: Bezeichnung der Farbe	Brandfarbe: Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbskala	
		Fleischfarb II.				
117	1895	Tuilerie F. Marendaz, Mathod	Hohlstein	gelb	No. 19	fleischfarb II
118	1895	Tuilerie L. Favre, Etoy	Vollstein	—	»	»
119	1895	Rohner, B., Ziegelei, Wettingen	»	—	»	»
120	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	Musterstein	gelblich	»	»
121	1896	Société anonyme Quadri, Couvet	Muster 111	—	»	»
122	1896	» » » »	» 112	—	»	»
123	1896	» » » »	» 114	—	»	»
124	1896	» » » »	» 116	—	»	»
				Mittel von No. 117—120:		
				Mittel von No. 121—124:		
		Orange I a				
125	1895	Mech. Ziegelei, im Hypert-Oberriet	Dachziegel	—	No. 20	Orange I a
		Orange I c				
126	1896	F. Kenel & Comp., Moutier	Muster 61	—	No. 22	Orange I c
127	1896	Reussen Vinzel	» 80	—	»	»
128	1896	Tuilerie F. Marendaz, Mathod	» 75	—	»	»
129	1896	Briqueterie mec., Yverdon	» 94	—	»	»
130	1896	» » »	» 95	—	»	»
131	1896	» » »	» 96	—	»	»
132	1896	» » »	» 97	—	»	»
133	1896	» » »	» 96	—	»	»
134	1896	» » »	» 99	—	»	»
135	1896	» » »	» 100	—	»	»
				Mittel von No. 126—135:		
		Orange II				
136	1895	G. Kuntze, Süssen	Verblender	helllederfarb.	No. 23	Orange II
137	1895	Theresia-Grube, Hermmühlheim b. Köln	»	lederfarbig	»	»
138	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	Musterstein	—	»	»
				Mittel von No. 136—138:		

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe, dividiert durch Summe des Flussmittels	CaO / Fe_2O_3
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
					Fleischfarb II					
53,48	17,32	7,79	12,76	6,28	Spur	0,56	1,81	99,44	3,47	1,64
60,59	18,57	6,46	9,45	2,56	0,17	0,43	1,77	99,40	4,91	1,46
56,28	15,19	4,48	18,20	3,12	0,32	0,63	1,78	99,05	3,59	4,06
62,50	13,56	5,37	11,23	4,63	0,32	0,15	2,24	99,53	4,24	2,09
53,99	19,91	5,46	8,95	5,57	2,54	—	3,58	97,46	4,14	1,64
68,68	17,51	4,47	4,40	2,08	0,67	—	2,19	99,33	7,56	0,98
55,98	14,20	6,29	17,16	2,07	0,45	—	3,85	99,55	3,39	2,73
54,62	17,96	7,18	12,89	2,88	0,57	—	3,90	99,43	3,70	1,80
58,21	16,16	6,03	12,91	4,15	0,20	0,44	1,90	99,36	4,05	2,32
58,32	17,39	5,85	10,85	3,15	1,06	—	3,38	98,94	4,70	1,79
					Orange I a					
67,39	18,89	5,97	2,80	1,61	Spur	0,80	2,54	99,20	7,68	0,47
					Orange I c					
54,78	17,69	5,89	15,08	3,98	0,52	—	2,06	99,48	3,68	2,56
57,03	14,36	4,80	18,84	2,35	0,46	—	2,16	99,54	3,54	3,93
54,87	17,15	6,46	13,51	4,99	0,59	—	2,43	90,41	3,63	2,09
53,35	19,52	5,96	12,84	5,38	0,48	—	2,47	99,52	3,73	2,16
50,11	18,99	5,67	17,51	5,17	0,43	—	2,12	99,57	3,27	3,09
56,53	15,33	5,37	16,05	3,82	0,66	—	2,24	99,34	3,62	2,99
55,07	16,03	4,99	17,73	4,12	1,16	—	0,90	98,84	3,56	3,55
54,02	19,35	5,00	14,41	4,22	0,66	—	2,34	99,34	3,83	2,88
56,48	14,53	6,02	15,56	4,08	0,58	—	2,75	99,42	3,50	2,58
53,05	17,83	5,39	16,74	4,43	0,74	—	1,82	99,26	3,50	3,11
54,53	17,08	5,55	15,83	4,25	0,63	—	2,13	99,37	3,59	2,89
					Orange II.					
74,47	16,45	2,45	0,80	1,33	Spur	0,29	4,21	99,71	11,35	0,33
76,82	15,60	3,50	0,73	1,24	»	0,08	2,03	99,92	13,32	0,21
72,50	16,05	4,78	3,13	2,11	0,25	0,55	0,63	99,20	9,31	0,66
74,60	16,03	3,58	1,55	1,56	0,08	0,31	2,29	99,61	11,33	0,40

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe		
				Bezeichnung der Farbe	Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbskala.	
		Orange III.				
139	1895	Ph. Holzmann, Frankfurt	**Verblender**	hellederfarb.	No. 24	Orange III
140	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	**Musterstein**	»	»	»
141	1896	Tuilerie L. Favre, Etoy	**Muster 83**	—	»	»
142	1896	» » » »	» **84**	—	»	»
143	1896	F. Kenel & Comp., Moutier	» **71**	—	»	»
144	1896	» » » » »	» **72**	—	»	»
				Mittel von 139 bis 140:		
				Mittel von 141 bis 144:		
		Goldocker I.				
145	1895	G. Kuntze, Süssen	**Verblender**	gelb	No. 25	Goldocker I
		Goldocker II.				
146	1895	Theresia-Grube, Hermmühlheim b. Köln	**Verblender**	gelb 2 a	No. 26	Goldocker II
		Ocker II.				
147	1895	Mech. Ziegelfabrik Albishof, Zürich	**Lochstein**	gelblich	No. 30	Ocker II, normal
		Ocker III, hell.				
148	1895	Fr. Hoffmann, Siegersdorf	**Verblender**	hellgelblichg.	No. 31	Ocker III hell
149	1895	G. A. Bourry & Comp., Horn	**Musterstein**	hellbiscuit	»	»
150	1896	Curchod, Barraud & Comp., Bussigny	**Muster 81**	—	»	»
				Mittel von 148 bis 149:		
		Ocker IV, blass.				
151	1895	Theresia-Grube, Hermmühlheim b. Köln	**Verblender**	gelb 1	No. 32	Ocker IV, blass
152	1895	G. A. Bourry & Cie, Horn	**Vollstein**	gelblich	»	»
153	1895	E. Dutoit, Tuilerie, Rolle	**Dachziegel**	»	»	»
154	1895	Croptier, H., Tuilerie, St. Triphon	»	»	»	»
155	1895	Schmidheiny, J., Ziegelei, Kronbühl	**Vollstein**	»	»	»
156	1895	» » » »	**Hohlstein**	»	»	»
157	1896	Tuilerie Marendaz, F., Mathod	**Muster 76**	—	»	»
				Mittel von No. 151—156:		

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe, dividiert durch Summe des Flussmittels	$\frac{CaO}{Fe_2O_3}$
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
Orange III.										
73,79	19,12	3,28	0,23	1,21	Spur	0,16	2,21	99,84	14,41	0,07
57,21	14,50	5,53	15,20	6,64	0,13	0,29	0,50	99,58	3,57	2,75
54,84	18,68	5,92	13,61	2,64	1,25	—	3,06	98,75	3,91	2,30
57,59	16,37	3,97	16,23	2,45	1,01	—	2,38	98,99	3,95	4,09
56,20	13,11	5,39	19,36	3,05	0,31	—	2,58	99,69	3,28	3,59
49,59	22,39	6,32	15,49	2,41	0,49	—	3,31	99,51	3,61	2,45
65,50	16,81	4,40	7,72	3,93	0,06	0,23	1,35	99,71	8,99	1,41
54,55	17,64	5,40	16,17	2,64	0,77	—	2,83	99,23	3,69	3,11
Goldocker I.										
73,62	17,30	2,83	1,73	2,36	Spur	0,36	1,80	99,64	11,42	0,61
Goldocker II.										
76,86	16,73	3,43	0,33	0,92	0,18	0,10	1,45	99,72	16,27	0,10
Ocker II.										
54,56	12,17	5,23	18,37	6,41	0,18	0,36	2,72	99,46	3,04	3,51
Ocker III, hell.										
78,86	15,02	2,38	—	0,69	Spur	0,20	2,85	99,80	16,86	0,00
65,80	11,27	5,13	13,66	2,19	0,12	0,23	1,60	99,65	4,41	2,66
58,76	15,04	5,77	14,81	2,97	0,87	—	1,78	99,13	3,91	2,57
72,33	13,15	3,75	6,83	1,44	0,06	0,22	2,22	99,72	10,63	1,33
Ocker IV, blass.										
78,04	16,85	2,68	0,60	0,87	0,35	0,36	0,25	99,29	22,57	0,22
74,43	9,50	3,43	9,03	1,75	0,18	0,27	1,41	99,55	6,37	2,63
55,72	14,64	5,36	18,60	3,36	0,34	0,40	1,58	99,26	3,43	3,47
59,32	16,44	4,33	16,59	2,42	Spur	0,39	0,51	99,61	4,18	3,83
58,99	12,62	6,05	16,80	2,47	0,10	0,49	2,48	99,41	3,58	2,78
54,65	12,53	5,90	20,13	3,93	0,09	0,33	2,44	99,58	3,07	3,41
56,88	15,08	5,43	16,98	3,03	0,44	—	2,16	99,56	3,61	3,13
63,52	13,76	4,63	13,62	2,47	0,18	0,37	1,45	99,45	7,20	2,72

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe: Bezeichnung der Farbe	Brandfarbe: Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbskala.	
		Holzfarb I.				
158	1895	Theresia-Grube, Hermmühlheim b. Köln	Verblender	gelblichgrau	No. 33	Holzfarb I.
		Holzfarb II.				
159	1895	Luchsinger & Hüni, Ziegelei, Oberriet	Lochstein	biscuitfarbig	No. 34	Holzfarb II,
160	1895	Backsteinfabrik Zollikofen u. Rehhaag	Dachziegel	»	»	mit Stich ins Graue oder Rötliche
161	1895	Tuilerie H. Pillichody, Yverdon	»	»	»	»
162	1895	v. Gunten, Gebr., mech. Ziegelei, Uettligen	Lochstein	»	»	»
163	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	Dachziegel	»	»	Holzfarb II
164	1895	J. Walser & Comp., Winterthur	»	»	»	»
165	1895	Schmidheiny, J., Ziegelei, Kronbühl	»	»	»	»
166	1895	Mech. Ziegelei, im Hylpert-Oberriet	Lochstein	»	»	»
167	1895	Brandenberg, E., Ziegelei, Zug	Dachziegel	»	»	»
168	1895	Widmer & Wunderli, Richtersweil	Vollstein	»	»	»
169	1895	Thonwarenfabrik, Laufen	Hohlstein	»	»	»
170	1895	Mech. Ziegelei J. Weder, Heiden	Dachziegel	»	»	»
171	1895	Tuilerie E. Standmann, Bussy sur Morges	Vollstein	»	»	»
172	1895	Thonwarenfabrik, Tänikon	Dachziegel	»	»	»
173	1895	" "	»	»	»	»
174	1895	Noppel & Co., Ziegelfabr., Emmishofen	Dachziegel	»	»	»
175	1895	" " " " "	»	»	»	»
176	1896	Société anonyme Quadri, Couvet	Muster 113	»	»	»
				Mittel von No. 159—175:		
		Gelb.				
177	1895	G. A. Bourry & Co., Horn	Verblender	citronengelb	No. 35	gelb
		Hellgelb.				
178	1895	Tuilerie mec. de Lentigny	Dachziegel	hellgelb	N. 85b	hellgelb
179	1895	" " " "	Lochstein	»	»	»
180	1895	Tuilerie L. Favre, Etoy	Dachziegel	»	»	»
181	1895	Ernst, Jakob, Ziegelei, Aarau	»	»	»	»
						Im Mittel:

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe, dividiert durch Summe des Flussmittels	CaO / Fe_2O_3
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
Holzfarb I.										
75,94	18,62	2,24	0,33	1,02	0,37	0,33	1,15	99,30	20,95	0,15
Holzfarb II.										
57,35	15,98	6,12	14,63	2,03	0,57	0,27	3,05	99,16	3,84	2,39
63,75	14,24	4,13	8,95	2,20	Spur	0,36	6,37	99,64	4,60	2,17
55,27	17,71	5,38	10,53	3,48	0,71	1,93	4,99	97,36	3,99	1,96
58,50	18,67	6,86	6,90	3,70	Spur	0,36	5,01	99,64	4,43	1,01
62,62	16,91	5,22	8,13	4,49	»	0,40	2,23	99,60	4,96	1,56
72,78	9,20	3,73	7,83	3,02	»	1,31	2,13	98,69	5,91	2,10
54,97	13,56	5,37	20,56	3,48	0,37	0,72	0,97	98,91	3,26	3,84
64,41	18,28	5,05	8,30	1,63	0,24	0,30	1,79	99,46	5,93	1,64
70,02	15,42	5,38	2,26	2,21	Spur	0,44	4,27	99,56	7,05	0,42
68,96	13,08	6,05	5,90	3,25	0,08	0,56	2,12	99,36	5,74	0,98
61,81	12,48	6,42	11,50	2,43	0,08	2,52	2,76	97,40	4,21	1,79
67,53	13,78	6,42	5,12	2,69	0,25	0,50	3,71	99,25	5,53	0,80
53,47	13,53	7,47	18,87	2,04	Spur	0,67	3,95	99,33	3,07	2,53
51,73	11,57	4,63	19,93	8,40	1,06	1,78	0,90	97,16	2,87	4,30
53,60	13,25	4,48	18,20	8,06	Spur	0,76	1,65	99,24	3,06	4,06
67,64	12,89	3,51	10,67	1,80	»	0,20	3,29	99,80	5,18	3,04
67,52	15,06	3,74	8,76	3,89	0,27	0,78	—	98,95	6,04	2,34
48,92	20,22	6,68	16,37	3,39	3,46	—	0,96	96,54	3,52	2,45
61,88	14,45	5,29	11,00	3,46	0,21	0,82	2,89	98,97	4,69	2,17
Gelb.										
64,76	11,93	5,07	13,96	1,25	Spur	0,38	2,65	99,62	4,35	2,76
Hellgelb.										
55,88	15,13	5,73	15,76	2,96	0,08	0,51	3,95	99,41	3,50	2,75
57,86	12,51	5,15	18,27	3,41	0,26	0,08	2,46	99,66	3,40	3,55
55,14	16,63	6,48	15,43	2,91	0,25	0,50	2,66	99,25	3,61	2,38
67,87	12,81	4,85	9,33	2,16	Spur	—	2,98	100,00	5,18	1,92
59,19	14,27	5,55	14,70	2,86	0,15	0,27	3,01	99,58	3,92	2,65

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe		
				Bezeichnung der Farbe	Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbenskala	
		Graugelb.				
182	1895	Utzschneider & Jaunez, Saargemünd	Belagsplatte	graugelb	N. 85c	graugelb
183	1895	„ „ „ „	»	»	»	»
184	1895	„ „ „ „	»	»	»	»
185	1895	Baugesellschaft u. Keramitfabr., Kaschau	»	»	»	»
186	1895	„ „ „ „	»	»	»	»
187	1898	Utzschneider & Jaunez, Saargemünd	»	»	»	»
188	1898	„ „ „ „	»	»	»	»
189	1898	„ „ „ „	»	»	»	»
190	1895	Ph. Holzmann, Frankfurt	Verblender	»	»	»
191	1898	Pabst, F., St. Johann a. S.	Belagsplatte	»	»	»
192	1898	„ „ „	»	»	»	»
193	1898	„ „ „	»	»	»	»
194	1898	Keramitfabrik Hungaria, Budapest	Pflasterstein	»	»	»
				Mittel von No. 182—194:		
		Weissgelb.				
195	1895	G. A. Bourry & Comp., Ziegelfabr., Horn	Hohlstein	crême	No. 36	weissgelb
196	1895	Rütishauser, M., Emmersweil	Dachziegel	hellgelb	»	»
197	1895	Thonwaarenfabrik, Tänikon	Lochstein I	»	»	»
198	1895	„ „	Lochstein II	»	»	»
199	1895	„ „	Dachziegel	»	»	»
200	1895	„ „	»	»	»	»
201	1895	Briqueterie mec. de Lentigny	Vollstein	»	»	»
202	1895	„ „ „ „	Lochstein	»	»	»
203	1895	Backsteinfabrik, Zollikofen u. Rehhaag	»	»	»	»
204	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	Dachziegel	»	»	«
205	1895	„ „ „	Musterstein	»	»	»
206	1895	Dampfziegelei Heuriet, Zürich	Lochstein	»	»	»
207	1895	Bay, J., Gysenhard	Dachziegel	»	»	»
208	1895	Weibel, J., Ziegelei, Gloten-Sirnach	«	»	»	»
209	1896	E. Dutoit, Tuilerie, Rolle	Muster 131	—	»	»
210	1896	F. Kenel & Co., Briqueterie, Moutier	» 65	—	»	»

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe, dividiert durch Summe des Flussmittels	$\frac{CaO}{Fe_2O_3}$
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
Graugelb.										
51,99	19,54	5,18	19,14	2,48	0,50	0,64	0,53	98,86	3,62	3,70
50,69	18,89	5,04	20,69	2,55	0,73	0,77	0,64	98,50	3,41	4,10
49,34	23,06	4,90	18,37	2,55	0,44	0,68	0,66	98,88	3,73	3,75
72,04	20,62	3,28	0,50	1,31	0,45	0,00	1,80	99,55	14,45	0,15
71,33	20,25	3,28	1,10	1,27	0,34	0,36	2,07	99,30	12,86	0,34
52,66	22,98	2,67	18,70	2,30	0,83	0,37	—	99,31	4,20	7,00
52,78	24,54	1,41	18,50	2,26	0,37	0,52	—	99,49	4,49	13,14
52,97	23,49	1,81	18,90	2,12	0,48	0,23	—	99,29	4,34	10,44
73,70	18,50	2,83	0,46	1,27	Spur	0,21	3,03	99,79	13,15	0,16
54,44	21,40	2,20	18,95	2,06	0,83	0,30	—	99,05	4,27	8,61
52,89	24,16	1,41	17,30	2,34	0,59	0,32	0,99	99,09	4,50	12,27
54,29	23,95	1,70	16,45	2,44	0,30	0,22	0,65	99,48	4,68	9,68
54,24	15,26	7,13	18,15	4,94	0,26	—	0,02	99,74	3,30	2,55
57,18	21,28	3,30	14,40	2,30	0,47	0,36	0,80	99,26	6,23	5,84
Weissgelb.										
63,60	9,76	4,00	18,46	2,87	Spur	0,29	1,02	99,71	3,78	4,62
60,40	12,98	3,96	17,33	2,57	0,38	0,73	1,65	98,89	3,88	4,37
52,04	13,24	3,36	20,60	8,02	0,27	0,50	1,97	99,23	2,92	6,13
52,89	12,30	4,30	19,53	7,27	Spur	0,63	3,08	99,37	2,91	4,54
57,19	9,75	3,28	19,80	7,32	0,82	0,66	1,18	98,52	3,12	6,04
52,53	11,90	4,33	19,13	8,87	0,78	1,40	1,06	97,82	2,93	4,42
56,86	11,57	4,63	20,90	3,36	0,14	0,13	2,41	99,73	3,19	4,51
57,86	12,51	5,15	18,27	3,41	0,26	0,08	2,46	99,66	3,38	3,55
56,80	14,14	5,03	17,37	2,94	0,61	0,57	2,54	98,82	3,56	3,45
50,81	14,82	4,18	19,06	8,20	Spur	0,55	2,38	99,45	2,94	4,56
66,59	13,07	3,73	11,00	3,90	0,13	0,48	1,10	99,39	5,04	2,95
50,23	12,82	5,15	20,53	7,78	0,67	0,58	2,24	98,75	2,77	3,99
64,72	12,43	4,03	12,96	2,83	Spur	0,12	2,91	99,88	4,39	3,22
66,71	11,10	4,03	11,60	2,88	»	0,42	3,26	99,58	4,57	2,88
52,85	15,79	4,71	20,48	2,89	1,81	—	1,47	98,19	3,32	4,35
50,34	16,53	5,41	21,77	4,91	0,51	—	0,53	99,49	3,05	4,02

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe: Bezeichnung der Farbe	Brandfarbe: Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbskala	
		Weissgelb.				
211	1896	F. Kenel & Co., Briqueterie, Moutier	Muster 67	—	No. 36	Weissgelb
212	1896	„ „ „ „ „	» 69	—	»	»
213	1896	Briqueterie mec. de Lentigny	» 142	—	»	»
214	1896	„ „ „ „	» 143	—	»	»
215	1896	„ „ „ „	» 144	—	»	»
216	1896	Briqueterie mec., Yverdon	» 89		»	»
				Mittel von No. 195—208:		
				Mittel von No. 209—216:		
		Stumpfocker II.				
217	1895	Theresia-Grube, Hermmühlheim b. Koln	Verblender	gelb 1 a	No. 38	Stumpfocker II
		Stumpfocker III.				
218	1895	Thonwerke Lauban	Verblender	grauweiss	No. 39	Stumpfocker III
219	1895	F. Kenel & Co., Briqueterie, Moutier	Lochstein	hellgelb	»	»
220	1895	Tuilerie F. Marendaz, Mathod	Vollstein	»	»	»
221	1895	„ E. Standmann, Bussy	Dachziegel	»	»	»
222	1895	J. J. Keller, Ziegelei, Teufen	»	»	»	»
223	1895	Freyenmuth, N., Langdorf	»	»	»	»
224	1896	Curchod, Barraud & Comp., Bussigny	Muster 60	—	»	»
225	1896	Tuilerie E. Dutoit, Rolle	» 130	—	»	»
226	1896	F. Kenel & Co., Briqueterie, Moutier	» 62	—	»	»
227	1896	„ „ „ „ „	» 63	—	»	»
228	1896	„ „ „ „ „	» 64	—	»	»
229	1896	„ „ „ „ „	» 68	—	»	»
230	1896	Briqueterie, mec., Yverdon	» 88	—	»	»
231	1896	„ „ „	» 93	—	»	»
				Mittel von No. 218—223:		
				Mittel von No. 224—231:		
		Weiss.				
232	1895	Kiefer, Hamburg	Belagsplatte	weiss	No. 40	weiss
233	1895	Widmer u. Wunderli, Richtersweil	Lochstein	»	»	»

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe, dividiert durch Summe des Flussmittels	$\frac{CaO}{Fe_2O_3}$
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
Weissgelb.										
52,16	13,15	6,07	23,02	3,03	0,86	—	1,71	99,14	2,93	3,79
49,75	13,73	6,01	26,00	2,76	0,65	—	1,10	99,35	2,74	4,33
55,36	11,61	3,41	23,50	2,76	0,68	—	2,68	99,32	2,98	6,89
58,75	14,32	4,48	17,06	2,64	0,72	—	2,03	99,28	3,79	3,81
52,24	16,97	4,29	21,58	2,74	0,49	—	1,69	99,51	3,28	5,03
53,41	15,21	5,18	20,63	3,35	0,33	—	1,89	99,67	3,21	3,98
57,80	12,31	4,23	17,61	5,16	0,29	0,51	2,09	99,20	3,53	4,23
53,11	14,66	4,94	21,76	3,13	0,76	—	1,64	99,24	3,16	4,53
Stumpfocker II.										
75,94	18,62	2,24	0,33	1,02	0,37	0,33	1,15	99,30	20,95	0,15
Stumpfocker III.										
72,85	21,02	2,68	0,36	0,98	Spur	0,08	2,03	99,92	16,51	0,13
54,65	13,44	3,91	18,83	4,05	»	0,35	4,77	99,65	3,16	4,82
46,48	18,23	6,60	13,10	6,34	0,08	0,42	8,75	99,50	2,86	1,98
54,00	13,32	7,02	19,27	3,22	Spur	0,53	2,64	99,47	3,09	2,74
58,90	13,05	4,18	16,90	3,86	»	0,67	2,44	99,33	3,63	4,00
66,63	11,01	2,99	12,20	3,60	0,38	0,57	2,62	99,05	4,62	4,08
53,26	17,19	5,64	17,02	3,24	1,38	—	2,27	98,62	3,50	3,02
57,09	13,51	4,39	19,78	2,96	1,11	—	1,16	98,89	3,50	4,51
53,96	15,53	5,84	19,86	3,58	1,08	—	0,15	98,92	3,36	3,40
58,89	13,49	4,04	19,03	2,82	0,52	—	1,21	99,48	3,67	4,71
54,69	12,84	4,65	21,41	3,80	0,66	—	1,95	99,34	3,12	4,60
58,36	13,06	4,64	18,44	2,31	0,39	—	2,80	99,61	3,57	3,97
57,49	13,96	4,82	17,58	3,67	0,35	—	2,13	99,65	3,53	3,65
51,78	19,02	4,43	17,60	5,11	0,48	—	1,58	99,52	3,47	3,97
58,92	15,01	4,56	13,44	3,67	0,08	0,44	3,88	99,48	5,65	2,96
55,69	14,82	4,81	18,84	3,44	0,75	—	1,65	99,25	3,47	3,98
Weiss.										
68,74	23,93	2,42	Spur	Spur	Spur	—	4,91	100,00	13,64	0,00
49,24	13,17	5,60	24,73	3,95	0,71	0,73	1,87	98,56	2,72	4,42

Bemerkung.

Zu den vorstehenden, tabellarischen Zusammenstellungen bemerken wir, dass einzelne der untersuchten Farbnüancen von den Farbtönen der Normalskala abweichen, und konnten dieselben blos annäherungsweise zu den Species der einen oder andern Farbnummer eingereiht werden. Die Farbnüancen einzelner, namentlich flammig gebrannter Steine spielen in verschiedene Farbtöne der Normalskala, so dass wir im Zweifel waren, in welche von diesen der betreffende Farbton einzuordnen sei. In solchen Fällen haben wir diese Steine gleichzeitig in verschiedene Gruppen eingestellt. So erscheint:

No. 12 auf Seite 84 unter Hausrot II, während der gleiche Stein auf Seite 88 unter No. 49, Ziegelrot III wieder erscheint; so ist ferner der gleiche Stein

No. 40 auf Ste. 86, unter Ziegelrot I u. unter No. 98, Fleischfarbe I,
» 82 » » 90, » Lederfarbe II » » » 175, Holzfarbe II,
» 179 » » 98, » Hellgelb » » » 202, Weissgelb,

eingereiht.

2. Resultate der Untersuchung der Produkte der schweizerischen Ziegelfabriken

aus den Jahren 1883 bis einschliesslich 1898.

A. Mauer- und Formsteine.
B. Dachziegel.
C. Belagsplatten.
D. Anhang.

Zu nachstehenden Zusammenstellungen bemerken wir:

Kolonne 6 enthält die Nummern der Analysen der Ziegel, welche auf Seite 84 bis einschliesslich 103 des vorliegenden Heftes angeführt sind. Analysen solcher Mauersteine, Dachziegel und Belagsplatten, welche in den vorerwähnten Zusammenstellungen nicht angeführt werden konnten, wurden unter lit. *D* im Anhange des Abschnittes 2 angeführt und dort mit denjenigen Nummern bezeichnet, welche der fortlaufenden Nummerierung der Tabellen *A, B* und *C* entsprechen.

Die durch die Dampfprobe, vergl. Seite 69, nachgewiesenen löschfähigen Stoffe in den Produkten der Thonwarenindustrie sollen in den nachstehenden Tabellen folgendermassen gekennzeichnet werden:

keine; Spuren; geringe Mengen; erhebliche Mengen.

Ebenso sollen die Ergebnisse der Frostproben durch folgende Eintragungen bezeichnet werden:

unverändert; Spuren von Ablösungen (Absandung, Abschieferung oder Abblätterung); *geringe Ablösungen; erhebliche Ablösungen; geborsten.*

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Format in cm	No. der chem. Analyse auf Ste. 84—103	Brandfarbe
		A. Mauer- und Formsteine.				
		a) Handsteine.				
1	1883	Backsteinfabr. Blattmann, Wiedikon	Vollstein	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hellgelblich
2	1883	» » »	»	28,0 : 13,5 : 6,0	—	hellweisslichgelb
3	1883	Mech. Backsteinfabrik Zürich	»	24,5 : 11,0 : 6,0	—	hellgelb
4	1883	Backstein- u. Cementfabr. Käpfnach	Hinter-mauerungsst.	24,5 : 11,8 : 5,5	—	rot
5	1883	Dampfziegelei Heuriet, Zürich	Vollstein	—	-	rötlichgelb
6	1883	J. J. Keller, Schloss Teufen	»	24,0 : 11,0 : 6,0	—	rosa
7	1883	Thonwarenfabrik Tänikon	»	25,0 : 12,5 : 5,5	—	weisslichgelb
8	1891	Walser & Co., Winterthur	Kaminstein	29,0 : 13,0 : 6,0	—	rötlichbraun
9	1891	» »	»	24,0 : 13,5 : 6,0	—	»
10	1891	Ziegelei Oensingen-Solothurn	Feuerfeste Steine	30,0 : 15,0 : 6,0	—	rötlichgelb
11	1895	Joh. Bay, Gysenhard b. Ossingen	Hinter-mauerungsst.	24,5 : 12,2 : 5,8	—	hellbiscuit, flammig
12	1895	J. Bälliger, Ziegelei, Dietikon	»	23,5 : 12,5 : 6,0	—	hellrot
13	1895	» » »	Kaminstein	27,0 : 9,5 : 6,0	—	»
14	1895	Henry Croptier, St. Triphon	Hinter-mauerungsst.	28,0 : 13,5 : 5,3		Holzfarbe (No. 14)
15	1895	» » »	»	26,5 : 12,8 : 5,0	—	Fleischfarbe, stumpf (No. 10 II)
16	1895	» » »	Kaminstein	27,0 : 9,5 : 4,5	—	Ocker IV blass (No. 1 IV)
17	1895	» » »	»	26,0 : 9,2 : 4,5		Fleischfarbe, stumpf (No. 10 II)
18	1895	Dampfziegelei Heuriet, Zürich	Hinter-mauerungsstn.	25,0 : 12,5 : 6,0		Ocker blass IV, Stich ins rötliche
19	1895	Joh. Ehrat, Lohn b. Schaffhausen	Vollstein	24,0 : 12,2 : 5,3		rötlich grau, im Bruch hausrot No. 6 II bis 6 I
20	1895	N. Freyenmuth, Ziegelei, Langdorf	Hinter-mauerungsst.	25,5 : 14,0 : 6,5		zwischen Holzfarbe (No. 14) und gelbweiss (No. 16)
21	1895	Christ. Gasser, Peyrens-Possens	Kaminstein	25,5 : 10,5 : 5,5	- -	wechselt, vorw. hausrot IV (No. 6 IV)
22	1895	» » » »	Hinter-mauerungsst.	25,0 : 12,0 : 6,0	—	do. do.
23	1895	J. J. Huzli, Gstaad b. Saanen	»	26,5 : 10,0 : 5,0	- -	hell ziegelrot IV, stumpf (No. 7 IV)
24	1895	J. J. Keller, Schloss Teufen	»	24,0 : 12,0 : 6,5	—	rot
25	1895	König & Co., Ziegelei, Glockenthl.	»	26,5 : 12,0 : 6,0	—	gelblich-rötlich wechselnd
26	1895	F. Marendaz, Tuilerie, Mathod	»	27,0 : 12,5 : 5,5	220	stumpfer Ocker III (No. 17 III)
27	1895	Mech. Ziegelfabr. Albishof, Zch.	Kaminstein	29,5 : 9,5 : 6,0	—	gelbweisslich (No. 16)
28	1895	U. Rutishauser, Hemmersweil	Hinter-mauerungsst.	30,0 : 14,5 : 4,5	—	Farbe wechselt, einzelne Steine weisslichgelb flammig, Stich ins rötl., andere fleischfarbig (No. 10)
29	1895	» »	»	30,0 : 15,0 : 6,0	—	hell Ocker, stumpf (No. 17 III)
30	1895	» »	»	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hellgelblichrot (hellbiscuit)

Klang	Stück-gewicht kg	Spec. Gewicht γ	Volumengewicht δ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Gehalt an löslichen Salzen %	Gehalt an löschfähigen Stoffen	Frostproben	Druckfestigkeit kg/cm² trocken β_t	Druckfestigkeit kg/cm² wassersatt β_n	Erweich.-Koeffizient $\varkappa = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
A. Mauer- und Formsteine.												
a) Handsteine.												
hell	2,49	2,17	—	29,3	—	—	—	—		113	96	1,2
»	3,46	2,19	—	31,5	—	—	—	—	—	92	96	1,0
»	2,53	2,48	—	24,8	—	—	—	—	—	235	215	1,1
»	2,50	1,96	—	28,1	—	—	—	—	—	254	232	1,1
»	2,55	—	—	25,6	—	—	—	—	—	190	123	1,5
»	2,89	2,38	—	11,8	—	—	—	—	—	234	218	1,1
»	2,56	2,34	—	23,3	—	—	—	—	—	192	216	0,9
ziemlich dumpf	—	—	1,63	—	—	—	—	—	—	104	—	—
»	—	—	1,71	—	—	—	—	—	—	83	—	
hell	—	—	1,85	—	—	—	—	—	—	99	—	—
ziml. hell	2,50	2,76	1,49	26	39	46	0,21	geringe Mengen	unverändert	150	152	1,0
mässig hell	2,98	2,63	1,80	18	32	32	0,11	keine	Spuren von Ablösungen	157	179	0,9
ziemlich dumpf	2,60	2,57	1,74	17	30	32	0,23	»	geborsten	110	76	1,4
ziml. hell	2,84	2,88	1,49	31	47	48	0,08	»	unverändert	220	200	1,1
ziemlich dumpf	2,66	2,66	1,59	23	37	40	0,35	Spuren	1 Krp. geborsten, d. a. zeigt ger. Ablösung.	220	194	1,1
ziml. hell	1,67	2,85	1,47	33	48	48	0,39	keine	1 Krp. zeigt Spur. v. Ablösungen, b. and. 1 Stck. abgesprengt	131	118	1,1
mässig hell	1,44	2,74	1,55	26	40	43	0,41	»	1 Krp. geborsten d. a. zeigt Spr. v. Ablösng.	159	179	0,9
»	2,67	2,85	1,55	30	46	46	0,16	»	unverändert	176	135	1,3
mässig hell	2,90	2,82	1,86	14	26	34	0,23	»	—	60		
hell	3,79	2,53	1,55	26	40	39	0,17	»	Spuren von Ablösungen	130	115	1,1
»	2,88	2,61	1,72	17	29	34	0,13	»	unverändert	215	186	1,1
»	3,58	2,64	1,76	16	28	33	0,17	»	»	173	174	1,0
mässig hell	1,87	2,62	1,51	27	40	42	0,11	erhebl. Mengen	Spuren von Ablösungen	208	155	1,3
ziml. hell	2,95	2,62	1,76	17	30	33	0,16	keine	unverändert	181	159	1,1
mässig hell	3,05	2,70	1,60	23	36	41	0,38	»	»	120	101	1,2
ziml. hell	2,99	2,66	1,52	24	37	43	0,19	»	Spuren von Ablösungen	296	235	1,3
mässig hell	2,44	2,75	1,42	30	43	49	0,10	»	unverändert	111	108	1,0
ziml. hell	2,85	2,78	1,56	26	40	44	0,14	Spuren	erhebl. Ablösng.	260	262	1,0
mässig hell	4,04	2,73	1,56	28	43	43	0,10	keine	1 Körp. geborsten, d. and. Spuren v. Ablös.	178	198	0,9
»	2,99	2,70	1,61	26	42	40	0,18	erhebl. Mengen	1 Körp. zeigt erhebl., der andere Spuren von Ablösungen	203	203	1,0

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Format in cm	No. der chem. Analyse auf Ste. 84–103	Brandfarbe
31	1895	Standmann, Ernst, Bussy sur Morges	Hinter-mauerungsst.	26,5 : 13,5 : 5,5	171	Stumpfer Ocker, zwischen II und III (No. 17 II bis III
32	1895	C. A. Suter, Frick, Kt. Aargau	»	24,0 : 11,5 : 5,5	—	dunkelrotbraun, liegt in Nähe von hausrot III (No. 6 III
33	1895	Thonwarenfabr. Tänikon b. Aadorf	»	30,0 : 14,5 : 6,0	—	weissgelb (No. 16)
34	1895	» » »	Kaminstein	29,0 : 8,5 : 5,7	—	gelbweiss
35	1895	Tuilerie méc. de Lentigny	Vollstein	25,0 : 12,0 : 6,0	201	hellgelb bis gelbweiss (No. 16)
36	1895	J. Walser & Co., Winterthur	Kaminstein	24,0 : 13,5 : 5,8	—	hellbiscuit
37	1895	Weber, G., Ziegelei, Lohn	»	31,6 : 9,4 : 6,1	—	hellgelblichrot bis lederfarbig No. 9 II
38	1895	» » » »	Erz-Vollstein	30,6 : 15,2 : 5,3	—	ziegelrot, angenähert No. 7 II,
39	1895	Widmer & Wunderli, Richterswl.	Hinter-mauerungsst.	23,5 : 11,5 : 6,0	168	biscuit
		b) Maschinen-Vollsteine.				
40	1883	G. A. Bourry & Co., Horn	Mauerstein	25,5 : 12,5 : 6,5	—	rot
41	1883	Dampfziegelei Heuriet, Zürich	Verblender	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hellgelb
42	1883	Hektor Egger, Nebikon	Hinter-mauerungsst.	23,0 : 11,0 : 6,5	—	rot
43	1883	» » »	Verblendstein	22,0 : 11,0 : 6,0	—	dunkelrot
44	1883	Société technique à Neuchâtel	Vollstein	21,5 : 10,5 : 5,5	—	rot
45	1883	» » » »	Mauerstein	27,0 : 9,0 : 5,0	—	»
46	1883	J. Schmidheiny, Heerbrugg	Vollstein	25,5 : 12,0 : 6,5	—	»
47	1883	» »	»	25,5 : 12,0 : 6,5	—	hellgelb
48	1883	Passavant-Iselin, Allschwil	Mauerstein	25,5 : 12,5 : 6,0	—	rot
49	1883	» »	»	25,0 : 12,0 : 6,0	—	rötlichgelb
50	1883	Thonwarenfabrik Emmishofen	»	25,0 : 12,0 : 6,0	—	rötlichgelb
51	1893	Thonwarenfabrik Laufen	Vollstein	25,0 : 12,0 : 6,0	—	blass rosarot, Stich ins Braune
52	1895	Backsteinfabrik Eymatt	Kaminstein	25,0 : 9,0 : 6,0	27	hausrot III (No. 6 III)
53	1895	J. E. Baumer, Rheinfelden	Vollstein	25,0 : 12,0 : 6,0	—	rostrot (No. 8)
54	1895	G. A. Bourry & Co., Horn	»	25,0 : 12,5 : 6,5	152	zwischen Ocker IV blass (No. 13 IV) u. gelbweiss (No. 16
55	1895	Fr. Brand, Grünenmatt b. Ramsey	Kaminstein	26,0 : 9,3 : 5,5	—	orange I (No. 11 I), und hellrostrot (No. 8 II)
56	1895	Emil Dutoit, Tuilerie, Rolle	Hinter-mauerungsst.	29,0 : 10,0 : 4,5	—	grünlichgelb
57	1895	Ed. Dutoit, Tuilerie, Jvonand	Vollstein	25,0 : 12,0 : 5,5	35	ziegelrot (No. 7 I–II
58	1895	L. Favre, Tuilerie, Etoy	»	27,0 : 10,3 : 5,3	118	Fleischfarbe II (No. 10 II)
59	1895	Gebr. v. Gunten, Uettligen b. Bern	Kaminstein	26,0 : 9,5 : 6,0	—	zwischen biscuit und Fleischfarbe (No. 10)
60	1895	F. Kenel & Co., Moutier	Vollstein	25,0 : 12,0 : 6,0	—	wechselnd, vorw. stumpfer Ockre III (No. 17 III) und biscuitgelb
61	1895	H. Meyer, Uelisbach b. Wattwyl	Hinter-mauerungsst.	25,0 : 12,0 : 5,8	—	gelblich- bis rötlichbraun

Klang	Stück-gewicht kg	Spec. Gewicht γ	Volumen-gewicht δ	Wasser-aufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Gehalt an löslichen Salzen %	Gehalt an löschfähigen Stoffen	Frostproben	Druckfestigkeit kg/cm² trocken β_t	Druckfestigkeit kg/cm² wassersatt β_n	Erweich.-Koeffizient $\varkappa = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
zieml. hell	2,61	2,74	1,57	27	42	43	0,17	keine	unverändert	287	286	1,0
»	2,93	2,62	2,05	10	21	22	0,19	»	»	308	270	1,1
mässig hell	3,79	2,84	1,41	30	42	50	0,92	»	Spuren von Ablösungen	159	130	1,2
zieml. hell	2,29	2,74	1,58	22	35	42	0,12	»	unverändert	311	302	1,0
wechselnd hell	2,64	2,84	1,49	30	45	48	0,11	»	»	242	213	1,1
zieml. hell	3,03	2,65	1,66	22	36	37	0,13	»	Spuren von Ablösungen	138	143	1,0
dumpf	2,75	2,67	1,64	20	33	39	0,25	geringe Mengen	—	36	—	—
mässig hell	4,1	2,77	1,72	21	36	38	0,17	keine	—	70	—	—
zieml. hell	2,62	2,63	1,71	18	31	35	0,14	Spuren	1 Körp. zeigt erhebl., der andere Spuren von Ablösungen	177	191	0,9
b) Maschinen-Vollsteine.												
—	3,63	2,22	—	16,9	—	—	—	—	—	215	151	1,4
—	2,70	—	—	22,6	—	—	—	—	—	285	219	1,3
—	2,66	2,29	—	17,6	—	—	—	—	—	227	207	1,1
—	2,48	—	—	13,2	—	—	—	—	—	261	183	1,4
—	2,07 (2,15*)	2,25 (2,27*)	—	18,8 (7,3*)	—	—	—	—	—	128 (155*)	177 (148*)	0,7 (1,0*)
—	2,00	2,29	—	11,4	—	—	—	—	—	243,5	318	0,8
—	3,09	2,31	—	20,0	—	—	—	—	—	374	320	1,2
—	2,96	2,36	—	25,1	—	—	—	—	—	400	239	1,7
—	3,50	2,30	—	13,0	—	—	—	—	—	294	264	1,1
—	2,83	2,24	—	19,2	—	—	—	—	—	449	377	1,2
—	3,30	2,57	—	21,8	—	—	—	—	—	337	280	1,2
hell	—	2,67	1,62	20,8	33,7	39,4	0,46	keine	geborsten	278	310	0,9
»	2,47	2,64	1,72	15	27	35	0,09	»	unverändert	179	318	0,6
mässig hell	3,01	2,61	1,76	14	25	33	0,06	»	Spuren von Ablösungen	260	239	1,1
hell	2,94	2,63	1,60	21	33	39	0,21	»	unverändert	307	314	1,0
mässig hell	2,03	2,68	1,63	23	38	39	0,39	»	»	225	129	1,7
»	2,16	2,74	1,56	27	41	43	0,19	geringe Mengen	»	217	258	0,8
hell	3,36	2,55	2,05	10	20	20	0,07	keine	»	487	532	0,9
»	2,35	2,66	1,58	21	34	41	0,15	Spuren	2 Körper unveränd. 1 Körper geringe Ablösungen	431	442	1,0
»	2,11	2,67	1,52	27	41	43	0,28	keine	erhebl. Ablösng.	226	218	1,0
»	3,36	2,59	1,67	16	27	36	0,26	»	1 Körper unver., beim anderen ein Stück abgesprengt	366	401	0,9
»	2,90	2,64	1,68	18	30	36	0,16	Spuren	unverändert	330	311	1,1

*) Kontrollversuch.

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Format in cm	No. der chem. Analyse auf Ste. 84—103	Brandfarbe
62	1895	Mech. Ziegelei, Hylpert-Oberriet	Kaminstein	29,5 : 9,0 : 6,5	—	missfarbig
63	1895	Gebr. Moser, Schüppach	Vollstein	25,0 : 10,5 : 5,8	76	reinfarbig, angen. Lederfarbe (No. 9 I)
64	1895	B. Rohner, Wettingen	»	25,0 : 12,0 : 6,0	119	wechselnd, Fleischfarbe II (No. 10 II)
65	1895	Savary & fils, Faoug	»	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hausrot I (No. 6 I)
66	1895	J. Schmidheiny, Heerbrugg	»	25,0 : 12,0 : 6,0	155	wechselnd, Ocker IV blass (No. 13 IV)
67	1895	Société anonyme, Quadri, Couvet	»	24,0 : 12,5 : 6,0	63	ziegelrot III (No. 7 III)
68	1895	Société technique de Neuchâtel	»	24,5 : 11,5 : 6,0	101	fleischfarbig (No. 10)
69	1895	J. Weibel, Ziegelei, Landquart	»	24,0 : 12,0 : 6,0	—	wechselnd, meist hellbiscuit
70	1895	Gebr. Zäch, mech. Ziegelei, Oberriet	»	25,0 : 12,0 : 6,0	—	ziegelrot
71	1895	Ziegelei Ersigen, b. Burgdorf	»	26,0 : 10,5 : 6,0	—	ziegelrot (No. 7 II)
		c) Nachgepresste Vollsteine.				
72	1883	Curchod & Co., Bussigny	Verblender	26,5 : 12,0 : 6,0	—	rot
73	1883	J. J. Keller, Schloss Teufen	Verblender	24,0 : 11,5 : 6,0	—	dunkelrot
74	1895	Curchod, Barraud & Cie., Bussigny	Verblender	26,0 : 12,5 : 5,5	—	hausrot III (No. 6 III)
75	1895	H. Pillichody, Yverdon	Vollstein	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hellbiscuit, stellw. flammig
		d) Lochsteine.				
			Anzahl und Abmessungen der Löcher			
76	1883	Backsteinfabr. Blattmann, Wiedikon	14 à 1,5 cm Durchmesser	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hellgelblich
77	1883	» »	17 à 2,0	28,0 : 13,5 : 6,0	—	hellweisslichgelb
78	1883	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	17 à 1,5	25,0 : 12,0 : 6,0	—	ziemlich dunkelrot
79	1883	» » »	17 à 1,5	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hellgelb
80	1883	» » »	17 à 1,5	25,0 : 12,0 : 6,0	—	»
81	1883	Dampfziegelei Heuriet, Zürich	17 à 1,5	25,0 : 12,0 : 6,0	—	»
82	1883	Ziegelei Dynhard	17 à 1,0	23,0 : 11,5 : 6,5	—	hellrot
83	1883	J. J. Keller, Schloss Teufen	17 à 1,5	24,5 : 11,5 : 6,0	—	hellgelb
84	1883	» » »	17 à 1,5	24,0 : 11,0 : 6,0	—	dunkelrot
85	1883	Thonwarenfabrik Tänikon	3 à 2,0 u. 8 à 1,6	24,5 : 12,5 : 6,2	—	hellweisslichgelb
86	1883	Passavant-Iselin, Allschwyl	17 à 1,5	24,5 : 11,5 : 5,5	—	hellgelb
87	1883	» » »	17 à 1,5	24,5 : 11,5 : 5,5	—	rot
88	1895	Backsteinfabrik Eymatt, Kt. Bern	11 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	66	rostrot (No. 8)

Klang	Stück-gewicht kg	Spec. Gewicht γ	Volumen-gewicht δ	Wasser-aufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Gehalt an löslichen Salzen %	Gehalt an löschfähigen Stoffen	Frostproben	Druckfestigkeit kg/cm² trocken β_t	Druckfestigkeit kg/cm² wassersatt β_n	Erweich.-Koeffizient $\frac{\beta_t}{\beta_n}$
hell	2,48	2,56	1,49	23	35	42	0,18	keine	unverändert	164	218	0,8
zieml. hell	2,37	2,55	1,61	19	31	37	0,18	»	»	163	163	1,0
mässig hell	2,63	2,65	1,62	22	36	39	0,33	erhebl. Mengen	»	171	171	1,0
hell	2,87	2,61	1,72	12	20,5	34	0,18	keine	»	417	361	1,2
zieml. hell	3,20	2,52	1,81	18	33	29	0,17	geringe Mengen	geringe Ablösungen	185	191	1,0
hell	3,29	2,64	1,73	19	33	34	0,34	keine	Spuren von Ablösungen	290	324	0,9
zieml. hell	2,55	2,57	1,63	20	32	37	0,28	»	unverändert	357	321	1,1
hell	2,25	2,71	1,50	32	48	45	0,08	»	»	182	128	1,4
»	2,39	2,63	1,46	23	33	44	0,14	»	»	145	193	0,8
»	2,81	2,54	1,80	16	29	29	0,33	»	»	286	316	0,9
c) Nachgepresste Vollsteine.												
—	3,68	2,34	—	—	—	—	—	—	—	291	—	—
—	2,96	2,34	—	9,3	—	—	—	—	—	267	218	1,2
hell	3,67	2,55	1,99	11	21	22	0,14	keine	unverändert	383	382	1,0
mässig hell	3,31	2,71	1,70	22	38	37	0,18	erhebl. Mengen	geringe Ablösungen	235	220	1,1
d) Lochsteine.												
—	2,25	2,30	—	32	—	—	—	—	—	158	139	1,1
—	3,00	2,28	—	29,5	—	—	—	—	—	141	200	0,7
—	2,57	—	—	18,7	—	—	—	—	—	340,5	282	1,2
—	2,34	—	—	12,5	—	—	—	—	—	255	294	0,9
—	2,34	2,63	—	26,1	—	—	—	—	—	304,5	374	0,8
—	2,55	—	—	26,6	—	—	—	—	—	320	241	1,3
—	2,60	2,59	—	22	—	—	—	—	—	336	319	1,1
—	2,39	2,35	—	20,4	—	—	—	—	—	338	240	1,4
—	2,82	2,32	—	9,3	—	—	—	—	—	379,5	323	1,2
—	2,44	2,30	—	25	—	—	—	—	—	214	227	0,9
—	2,20	2,33	—	16,2	—	—	—	—	—	582	459	1,3
—	2,65	2,22	—	2,6	—	—	—	—	—	270	247	1,1
hell	2,85	2,64	1,65	18	30	38	0,59	keine	Spuren von Ablösungen	207	272	0,8

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Anzahl und Abmessungen der Löcher	Format in cm	No. der chem. Analyse auf Ste. 84—103	Brandfarbe
89	1895	Backsteinfabrik Eymatt, Kt. Bern	11 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	15	hausrot II (No. 6 II)
90	1895	» » »	11 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	4	schwarz (blaugedämpft)
91	1895	Backsteinfabr. Zollikofen u. Rehhaag	11 à 1,6	25,0 : 12,0 : 6,0	203	gelbweiss (No. 16)
92	1895	J. E. Baumer, Rheinfelden	17 à 1,6	25,0 : 12,0 · 6,0	68	rostfarbig (No. 8)
93	1895	G. A. Bourry & Co., Horn	14 à 1,6	25,0 : 12,0 : 6,5	—	biscuitgelb
94	1895	E. Brandenberg, Schutzengel, Zug	14 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	79	Lederfarbe (No. 9 I)
95	1895	» » »	14 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	67	rostfarbig (No. 8)
96	1895	Fr. Brand, Grünenmatt b. Ramsey	14 à 2,0	24,5 : 12,0 : 6,0	—	stellenweise Ockergelb und biscuitfarbig
97	1895	Curchod, Barraud & Co., Bussigny	14 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	22	hausrot III (No. 6 III)
98	1895	Dampfziegelei Heuriet, Zürich	17 à 1,5	25,5 : 12,5 : 6,0	51	ziegelrot (No. 7 II)
99	1895	» » »	17 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	206	gelbweiss (No. 16)
100	1895	N. Freyenmuth, Langdorf	11 à 1,6	25,0 : 12,0 : 6,5	—	blassbiscuit bis gelbweiss (No. 16)
101	1895	Gebr. v. Gunten, Uettligen b. Bern	11 à 1,6	24,5 : 11,5 : 6,0	162	biscuit
102	1895	J. Hilfiker-Hüssy, Kölliken	17 à 1,7	23,0 : 11,0 : 5,8	29	hausrot III (No. 6 III)
103	1895	J. J. Keller, Schloss Teufen	17 à 2,0	24,5 : 12,0 : 6,0	52	ziegelrot (No. 7 II)
104	1895	F. Kenel & Co., Moutier	14 à 2,0	25,0 : 12,0 : 6,0	219	Stumpfer Ocker III (No. 17 III) und hellbiscuitgelb
105	1895	König & Co., Glockenthal	14 à 1,6	25,5 : 12,5 : 6,0	97	Fleischfarbe (No. 10) bis hellrotbraun
106	1895	Luchsinger & Kuhnis, Oberriet	10 à 1,6	25,0 : 12,0 : 6,5	159	zwischen biscuit u. gelb
107	1895	H. Meyer, Uelisbach b. Wattwyl	14 à 1,5	24,0 : 11,7 : 5,8	56	ziegelrot (No. 7 II)
108	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	15 à 2,0	25,0 : 12,0 : 6,0	—	ziegelrot, blass (No. 7 IV)
109	1895	» » »	12 à 1,8 : 3,0	25,0 : 12,0 : 6,5	—	angenähert Ocker IV blass (No. 13 IV)
110	1895	Mech. Ziegelei, Hylpert-Oberriet	10 quadr. à 2,0	25,5 : 12,0 : 6,5	166	biscuitfarbig, flammig
111	1895	» » »	12 à 2,0 : 2,5	30,0 : 15,0 : 6,5	—	biscuit bis rötlichbraun
112	1895	Mech. Ziegelfabr., Albishof, Zch.	14 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	147	hellocker II (No. 13 II)
113	1895	» » » »	14 à 1,7	25,0 : 12,0 : 6,0	72	Lederfarbe (No. 9 I)
114	1895	» » » »	17 à 1,7	28,5 : 14,0 : 6,0	—	gelbweiss (No. 16)
115	1895	Gebr. Moser, Schüppach, Emmenth.	14 à 1,6	23,0 : 11,0 : 6,0	77	lederfarbig (No. 9 I)
116	1895	Noppel & Co., Emmishofen	14 à 1,8	25,5 : 12,5 : 6,0	—	biscuitfarbig
117	1895	B. Rohner, Ziegelei, Wettingen	14 à 1,7	25,0 : 12,0 : 6,0	—	flammig, Fleischfarbe (No. 10) bis orange IV, stumpf (II IV)
118	1895	Savary & fils, Faoug	14 à 1,6	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hausrot II (No. 6 II)
119	1895	» » » »	8 à 1,8	3/4 Stein 19,0 : 12,0 : 7,0	—	hausrot I—II (No. 6 I–6 II)
120	1895	» » » »	14 à 1,6	25,0 : 12,0 : 6,0	20	hausrot III (No. 6 III)
121	1895	Thonwarenfabrik Tänikon	11 à 2,0	25,0 : 12,0 : 6,0	197	gelblichweiss (No. 16)
122	1895	» »	13 à 2,0	29,0 : 14,0 : 6,5	198	gelbweiss (No. 16)

Klang	Stück-gewicht kg	Spec. Gewicht γ	Volumen-gewicht δ	Wasser-aufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Gehalt an lös-lichen Salzen %	Gehalt an lösch-fähigen Stoffen	Frostproben	Druckfestigkeit kg/cm² trocken β_t	Druckfestigkeit kg/cm² wasser-satt β_n	Erweich.-Koeffizient $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
ziemL. hell	2,94	2,62	1,84	14	27	30	0,09	keine	unverändert	239	202	1,2
»	2,73	2,65	1,57	19	30	41	0,24	»	Spuren von Ablösungen	198	300	0,7
hell	2,68	2,79	1,61	27	43	42	0,22	»	erhebl. Ablösng.	258	296	0,9
ziemL. hell	2,75	2,63	1,77	14	25	33	0,11	erhebl. Mengen	geringe Ablösungen	199	177	1,1
hell	2,81	2,60	1,63	20	33	37	0,14	keine	unverändert	457	525	0,9
»	2,75	2,60	1,74	16	28	33	0,17	»	»	217	291	0,7
»	3,35	2,62	1,75	16	28	33	0,14	»	1 Körp. unver., beim and. 1 Stck. abgesp.	241	315	0,8
ziemL. hell	2,43	2,70	1,69	22	37	37	0,34	Spuren	unverändert	265	149	1,8
hell	2,92	2,58	1,90	14	26	26	0,10	keine	»	376	410	0,9
ziemL. hell	3,12	2,52	1,93	12	23	23	0,08	»	»	261	425	0,6
»	2,38	3,02	1,56	30	47	48	1,00	geringe Mengen	erhebl. Ablösng.	170	293	0,6
hell	2,76	2,65	1,55	26	40	42	0,47	keine	unverändert	311	288	1,1
»	2,54	2,69	1,61	24	38	40	0,10	»	Spuren von Ablösungen	273	317	0,9
»	2,39	2,60	1,96	12	24	25	0,06	»	unverändert	253	250	1,0
»	2,57	2,59	1,78	15	27	31	0,13	erhebl. Mengen	»	203	260	0,8
»	2,60	2,67	1,78	15	26	33	0,11	keine	»	426	406	1,0
»	2,78	2,61	1,74	18	32	33	0,08	»	»	385	315	1,2
ziemL. hell	2,35	2,74	1,40	31	44	49	0,72	»	»	217	233	0,9
hell	2,77	2,58	1,82	14	25	29	0,19	»	»	216	270	0,8
»	2,84	2,53	1,76	16	27	30	0,17	»	»	359	469	0,8
»	2,42	2,78	1,66	23	38	38	0,07	»	»	241	202	1,2
»	2,44	2,58	1,50	21	32	42	0,22	»	»	197	191	1,0
»	3,38	2,60	1,48	21	31	43	0,24	»	»	166	222	0,8
»	2,34	2,86	1,51	30	45	47	0,21	»	»	239	266	0,9
»	2,69	2,57	1,70	17	29	34	0,32	»	»	346	473	0,7
ziemL. hell	3,20	2,80	1,53	29	44	45	0,11	»	»	284	254	1,1
hell	2,30	2,66	1,63	21	34	39	0,51	»	1 Körper unver., der andere zeigt 1 Riss	142	149	1,0
ziemL. hell	2,54	2,74	1,63	25	41	41	0,31	»	1 Körp. unver., beim and. 1 Stck. abgesp.	229	242	0,9
ziemlich dumpf	2,58	2,67	1,57	25	39	41	0,26	erhebl. Mengen	unverändert	193	218	0,9
hell	2,53	2,58	1,79	18	32	31	0,09	keine	»	273	351	0,8
»	2,57	2,62	1,70	18	30	35	0,16	»	»	333	284	1,2
»	2,59	2,63	1,70	18	31	35	0,30	»	»	323	284	1,1
ziemL. hell	2,39	2,84	1,55	27	42	45	0,11	»	»	270	251	1,1
»	3,14	2,92	1,47	28	41	50	0,16	»	»	229	209	1,1

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Anzahl und Abmessungen der Löcher	Format in cm	No. der chem. Analyse auf Ste. 84—103	Brandfarbe
123	1895	Thonwarenfabrik Laufen	14 à 2,0	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hausrot II (No. 6 II)
124	1895	Tuilerie méc. de Lentigny	13 à 1,6	25,0 : 12,0 : 6,0	202	hellgelb bis gelblichweiss (No. 16)
125	1895	J. Walser & Co., Winterthur	14 à 1,7	25,5 : 12,5 : 6,3	—	hellbiscuit
126	1895	J. Weder, Ziegelei, Heiden	14 à 2,0	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hell, Lederfarbe (No. 9 III)
127	1895	J. Weibel, Gloten-Sirnach	10 à 2,0	26,0 : 11,5 : 6,0	—	gelbweiss
128	1895	» »	13 à 2,0	30,0 : 14,5 : 6,0	—	gelbweiss (No. 16)
129	1895	Widmer & Wunderli, Richtersweil	17 à 1,7	25,0 : 12,0 : 6,0	233	fast weiss (No. 18)
130	1895	Gebr. Zäch, Ziegelei, Oberriet	10 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	104	blass ziegelrot
131	1895	Ziegelei Ersigen b. Burgdorf	11 à 2,0	25,5 : 12,2 : 6,0	49	ziegelrot (No. 7 II)
132	1896	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	17 à 1,8–2,0	25,0 : 12.0 : 6,0	—	hellweisslichgelb, Stich ins rötliche
133	1896	Briqueterie méc. d'Yverdon	14 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	—	zwischen stumpfer Ocker No. III (No. 17 III) u. Fleischfarbe (No. I
134	1896	Alois Bucheli, Kriens	14 à 1,5	25,0 : 12,0 : 6,0	—	wechselt, teils rot, rötlichgelb bis Lederfarbe
135	1897	Mech. Ziegelfabrik, Wettsweil	14 à 1,8	25,0 : 12,0 : 6,0	—	gelbweiss, Stich ins grüne
136	1897	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	17 à 1,75	25,0 : 12,0 : 6,0	—	blass ziegelrot
137	1897	Dampfziegelei Kriens	14 à 2,0	25,0 : 12,0 : 6,0	—	schwankend, lederartig (Holzfarbe II No. 24) mit Stich ins rötliche
138	1898	Gebr. Weibel, Eschlikon	14 à 2,0	25,5 : 12,0 : 6,0	—	weisslichgelb
139	1898	Ziegelei Hochdorf, Kt. Luzern	17 à 1,7	25,0 . 12,0 : 6,0	—	Fleischfarbe I bis hausrot III
		e) Hohlsteine.				
140	1883	Mech. Backsteinfabrik Zürich	3 à 2,0 : 2,0	25,0 : 12,0 : 6,0	—	hellgelb
141	1883	Cement- u. Bausteinfabr. Käpfnach	2 Etagen 4 à 1,5 : 3,0	25,0 : 12,0 : 8,0	—	rot
142	1883	Curchod & Co., Bussigny	3 Etagen 9 à 2,0 : 3,0	28,0 : 12,0 : 15	—	gelb
143	1883	Ziegelei Dynhard	2 à 3,0 : 2,0	25,0 : 22,5 : 6,5	—	hellrot
144	1883	Ziegelei v. Hector Eggen, Nebikon	3 à 3,0 : 2,0	24,0 : 12,0 : 6,0	—	dunkelrot
145	1883	J. J. Keller, Schloss Teufen	5 à 2,5 : 2,5	23,0 : 11,5 : 5,5	—	»
146	1883	» » »	2 à 3,0 : 3,0	22,5 : 11,5 : 5,6	—	»
147	1883	Société technique de Neuchâtel	3 à 4,5 : 2,0	31,0 : 11,5 : 4,0	—	rot
148	1883	» » » »	2 à 2,6 : 3,0	30,0 : 10,5 : 6,0	—	»
149	1883	Thonwarenfabrik Tänikon	2 à 2,5 : 3,5	24,6 : 12,0 : 6,5	—	hellgelb
150	1883	Passavant-Iselin Allschwyl	2 à 3,0 : 2,5	25,0 : 12,0 : 6,5	—	rot
151	1883	E. Walcher-Luchsinger, Schännis	Läufer mit 2 à 0,7	25,0 : 12,0 : 6,5	—	»
152	1883	» » »	Läufer mit 2 à 3,0	25,0 : 12,0 : 6,5	—	»
153	1883	» » »	3 à 2,5 (rund)	24,0 : 11,5 : 6,5	—	»

Klang	Stück-gewicht kg	Spec. Gewicht γ	Volumen-gewicht δ	Wasser-aufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Gehalt an löslichen Salzen %	Gehalt an löschfähigen Stoffen	Frostproben	Druckfestigkeit kg/cm² trocken β_t	Druckfestigkeit kg/cm² wassersatt β_n	Erweich.-Koeffizient $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
hell	2,76	2,62	1,78	15	27	32	0,12	Spuren	unverändert	228	278	0,8
eml. hell	2,16	2,80	1,51	29	43	46	0,08	keine	»	260	298	0,9
mässig hell	2,89	2,66	1,63	21	35	39	0,20	erhebl. Mengen	erhebl. Ablösng.	165	176	0.9
hell	2,61	2,72	1,64	23	37	40	0,37	geringe Mengen	unverändert	182	168	1,1
mässig hell	2,23	2,90	1,39	37	52	52	0,22	geringe Mengen	»	161	172	0,9
eml. hell	3,12	2,93	1,42	35	50	52	0,21	keine	1 Körp. unver., d. a. zeigt Spur. v. Ablag.	131	157	0,8
»	2,21	2,95	1,40	37	52	53	0,98	geringe Mengen	erhebl. Ablösng.	106	131	0,8
»	2,47	2,52	1,63	18	30	35	0,25	keine	unverändert	171	261	0,7
»	2,96	2,56	1,82	11	20	29	0,08	»	»	278	305	0,9
hell	2,28	—	—	—	—	—	1,09	—	2 Körper erhebliche Ablösungen, 1 Körper unver.	194	--	—
»	2,70	2,75	1,65	23	37	40	0,15	keine	unverändert	189	215	0,9
»	—	--	—	--	—	—	—	—	»	250	—	—
--	2,49	2,78	1,69	23	39	39	0,23	geringe Mengen	erhebl. Ablösng.	306	--	—
hell	2,66	—	—	—	—	—	1,14	—	Spur. v. Ablösng.	181	--	—
»	2,12	—	1,88	19,7	37	—	0,24	--	» » »	427	—	—
	—	—	—	—	—	—	1,06	—	1 Krp. geborst., d. übr. 3 Krp. fast unver.	202	—	--
»	2,62	—	—	—	—	--	—	—	2 Krp. unver., d. and. zeigen Ablösungen u. Rissbildungen	230	295	0,8

e) Hohlsteine.

-	2,18	2,51	--	23,4	—	--	—	--	—	105	100	1,0
-	2,90	—	--	22,0	—	--	—	--	—	79	97	0,8
	2,54	2,37	--	18,9	—	--	-	--	—	105	102	1,0
—	2,75	2,63	—	19,0	—	--	—	--	—	204	217	0,9
	2,20	2,31	--	13,0	—	--	--	--	—	112	107	1,0
--	2,13	2,32	—	6,8	—	-	—	—	—	136	190	0,7
-	2,12	2,36	—	8,5	—	--	--	—	—	135	151	0,9
--	2,12	2,38	—	12,6	—	—	--	—	—	80	82	1,0
—	2,21	2,29	--	14,2	—	—	—	—	—	122	109	1,1
	2,14	2,43	--	25,0	—	--	--	--	—	90	104	0,9
	2,80	2,27	—	16,0	—	—	—	--	—	162	96	1,7
-	3,00	—	—	15,6	—	—	—	—	—	437	231	1,9
-	2,62	—	—	13,4	—	—	—	—	—	193	109	1,8
--	2,62	2,40	—	15,3	—	—	—	—	—	245	185	1,3

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Anzahl und Abmessungen der Löcher	Format in cm	No. der chem. Analyse auf Ste. 84—103	Brandfarbe
154	1895	Dampfziegelei Heuriet, Zürich	2 à 2,3 : 2,5	29,0 : 14,2 : 9,2	—	Ocker IV, blass
155	1895	Emile Dutoit, Rolle	3 à 2,4 : 1,4	29,0 : 14,5 : 3,5	—	lederfarbig IV (No. 9 IV
156	1895	Ed. Dutoit, Jvonand	2 à 2,8 : 3,8	26,5 : 13,0 : 5,5	9	hausrot I (No. 6 I)
157	1895	Ziegelei Ersigen, b. Burgdorf	3 à 2,4 : 2,4	30,0 : 14,5 : 6,0	—	rostrot (No. 8)
158	1895	Ch. Gasser, Peyres-Possens	2 Etagen 6 à 2,8 : 2,5	25,5 : 12,0 : 10,5	—	ziegelrot (No. 7 III)
159	1895	J. Hilfiker-Hüssy, Kölliken	2 à 2,3 : 2,6	24,5 : 12,0 : 5,8	16	hausrot II (No. 6 II)
160	1895	König & Co., Glockenthal	3 à 2,3 : 2,5	30,0 : 14,2 : 6,5	—	biscuit
161	1895	Fr. Marendaz, Mathod	2 Etagen 6 à 2,5 rund	27,5 : 12,5 : 9,0	117	Fleischfarbe II (No. 10 II
162	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	2 à 1,4 : 2,5	12,5 : 13,0 : 6,0	25	angen. hausrot III (No. 6 III)
163	1895	H. Pillichody, Yverdon	2 Etagen 6 à 2,6 rund	28,0 : 13,5 : 9,5	103	hellgelblich bis fleischfarbig (No 10), stellenw. flammig
164	1895	J. Schmidheiny, Kronbühl	2 à 3,0 : 3,5	25,5 : 12,0 : 6,0	156	Ocker IV blass (No. 13 IV)
165	1895	E. Standmann, Bussy s. Morges	3 à 2,5 : 2,5	27,0 : 13,0 : 5,0	—	do.
166	1895	Société anonyme, Quadri, Couvet	2 Etagen 6 à 2,8 : 2,8	29,5 : 15,0 : 10,0	—	ziegelrot II (No. 7 II)
167	1895	Société technique de Neuchâtel	2 Etagen 6 à 3,0 : 2,5	29,5 : 15,5 : 10,0	—	dunkelrot biscuit bis fleischfarbig (No. 10 II)
168	1895	Thonwarenfabrik Laufen	Verblender	12,0 : 12,0 : 6,5	14	hausrot II (No. 6 II)
169	1895	» »	»	12,0 : 12,0 : 6,5	169	missfarbig, fleckig, gelblich bis biscuitfarb. g
170	1895	J. Weibel, Landquart	2 à 2,5 : 3,0	25,0 : 12,0 : 7,0	69	ziegelrot stumpf
171	1895	Widmer & Wunderli, Richterswl.	2 Etagen 6 à 2,5 : 2,5	24,5 : 12,0 : 8,7	—	weiss (No. 18) mit Stich ins gelbliche
172	1895	Zbinden, frères, Payerne	2 Etagen 4 à 3,4 : 2,5	23,5 : 11,5 : 9,0	—	hausrot IV (No. 6 IV)
173	1895	» » »	2 Etagen 6 à 2,5 rund	28,0 : 14,0 : 10,0	21	hausrot III (No. 6 III)
174	1896	Briqueterie méc. d'Yverdon	2 Etagen 6 à 2,5 rund	28,0 : 13,0 : 9,5	—	zwisch. stumpf. Ocker No. III (No. 17 III) u. Fleischfrb. (No. 1

Bemerkungen. Zur Gattung »*Hohlsteine*« der Kategorie Mauer- und Formsteine sei bemerkt, dass die Eintragungen in die Kolonne »Anzahl und Abmessungen der Löcher« sich stets auf die Anzahl der Hohlräume jeder Etage beziehen. So bedeutet 3 à 2,0 : 2,0 cm: der Mauerstein sei ein einreihiger Hohlstein mit quadratischen Hohlräumen von 2,0 cm Seitenlänge.

Klang	Stück-gewicht kg	Spec. Gewicht γ	Volumen gewicht δ	Wasser-aufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Gehalt an löslichen Salzen %	Gehalt an löschfähigen Stoffen	Frostproben	Druckfestigkeit kg/cm² trocken β_t	Druckfestigkeit kg/cm² wassersatt β_n	Erweich.-Koeffizient $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
ziemlich hell	4,28	3,02	1,65	28	47	45	0,12	keine	unverändert	29	32	0,9
hell	1,88	2,68	1,60	24,5	39	40	0,88	»	»	66	92	0,7
»	2,61	2,52	1,93	12	23	23	0,08	»	»	194	171	1,1
»	3,58	2,53	1,82	17	30	28	0,32	»	»	126	131	0,9
»	4,23	2,62	1,79	18	32	32	0,14	»	»	58	53	1,0
»	2,53	2,64	1,88	14	26	29	0,10	»	»	119	126	0,9
ziemlich hell	3,16	2,68	1,63	23	38	39	0,09	»	»	128	119	1,1
»	3,34	2,53	1,69	20	34	33	0,19	Spuren	Spuren von Ablösungen	93	83	1,1
»	2,00	2,58	1,86	12	22	29	0,03	keine	Spuren von Ablösungen	125	97	1,3
mässig hell	4,02	2,49	1,60	21	33	36	0,29	erhebl. Mengen	unverändert	85	79	1,1
hell	1,87	2,84	1,63	28	46	43	0,13	keine	erhebl. Ablösng.	56	32	1,7
ziemlich hell	1,90	2,75	1,61	26	42	42	0,08	»	unverändert	119	149	0,8
hell	5,62	2,55	1,82	16	29	29	0,43	geringe Mengen	»	105	99	1,1
ziemlich hell	5,20	2,58	1,66	19	31	36	0,36	keine	»	94	89	1,0
»	1,42	2,61	1,82	13	23	30	0,04	»	»	189	220	0,9
ziemlich dumpf	1,38	2,79	1,65	18	30	41	0,76	»	»	183	223	0,8
hell	2,34	2,69	1,41	29	40	48	0,08	»	Spuren von Ablösungen	67	69	1,0
ziemlich hell	2,04	2,95	1,43	37	53	52	0,24	geringe Mengen	geborsten	21	27	0,8
hell	2,71	2,60	1,72	19	32	33	0,39	erhebl. Mengen	unverändert	66	66	1,0
»	5,28	2,63	1,75	19	32,5	33	0,27	»	»	112	108	1,0
»	4,24	2,69	1,73	20	34	36	0,17	keine	»	104	86	1,2

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Format in cm	No. d. chem. Anal. auf Ste. 84—103	Brandfarbe	Klang	Stückgewicht kg
		B. Dachziegel.					
		a) Handstrich-Ziegel.					
175	1894	F. Kenel & Co., Moutier	35,5 : 17,3 : 1,45 bis 1,50	—	braunrot	hell	—
176	1895	J. Bälliger Ziegelei, Dietikon	35,0 : 16,0 : 1,8	111	dunkelbiscuit	mässig hell	1,74
177	1895	Joh. Bay, Gysenhard b. Ossingen	39,0 : 16,5 : 1,8	207	gelbweiss (No. 16)	zieml. hell	1,72
178	1895	Henry Croptier, St. Triphon	35,0 : 17,0 : 1,5	154	Ocker IV blass (No. 13 IV)	»	1,03
179	1895	N. Freyenmuth, Langdorf	37,5 : 16,5 : 1,8	223	hellgelblichweiss, liegt zwischen weiss (18) u. stumpf. Ocker (17 III)	»	1,86
180	1895	Ch. Gasser, Peyres-Possens	34,0 : 16,0 : 1,7	47	ziegelrot	»	1,77
181	1895	J. J. Huzli, Ziegelei, Gstaad	33,0 : 15,5 : 1,5	—	hellziegelrot IV stumpf (No. 7 IV)	»	1,27
182	1895	Noppel & Co., Emmishofen	38,0 : 16,5 : 1,6	174	zwischen Holzfarbe (14) u. stumpfer Ocker (17 III)	mässig hell	1,76
183	1895	U. Rutishauser, Hemmersweil	38,0 : 17,5 : 1,7 bis 1,8	196	hellgelbweiss (No. 16)	»	1,77
184	1895	C. A. Suter, Frick, Kt. Aargau	33,5 : 16,0 : 1,6	43	zwischen hausrot III (6 III) und ziegelrot (7 II)	»	1,51
185	1895	Ernst Standmann, Bussy sur Morges	33,5 : 17,0 : 1,8	221	Stumpfer Ocker III (17 III)	zieml. hell	1,67
186	1895	Thonwarenfabrik Tänikon	40,0 : 17,0 : 1,5 bis 2,1	199	gelbweiss (No. 16)	mässig hell	1,86
187	1895	J. Walser & Co., Winterthur	39,0 : 17,0 : 1,5	164	wechselt vorwiegend biscuitfarbig	»	1,82
		b) Strang-Ziegel.					
188	1895	J. E. Baumer, Rheinfelden	34,5 : 16,5 : 1,8	115	biscuit mit Stich ins Rote	zieml. hell	1,76
189	1895	Fr. Brand, Grünenmatt b. Ramsey	34,5 : 15,5 : 1,6	50	ziegelrot (No. 7 II)	»	1,52
190	1895	E. Brandenberg, Ziegelei, Zug	35,0 : 15,5 : 1,6	167	biscuit	hell	1,66
191	1895	G. A. Bourry & Co., Horn	38,0 : 17,5 : 2,0 bis 2,2	99	zwischen dunkelbiscuit und fleischfarbig (No. 10)	mässig hell	2,10
192	1895	Curchod, Barraud & Co., Bussigny	34,5 : 17,0 : 1,5	38	hausrot IV (No. 6 IV)	hell	1,63
193	1895	Ed. Dutoit, Tuilerie, Jvonand	35,0 : 16,0 : 1,4 bis 1,5	46	ziegelrot mit Stich ins Braune (No. 7 II)	»	1,42
194	1895	Emil Dutoit, Tuilerie, Rolle	34,0 : 16,0 : 1,6 bis 1,7	153	Ocker blass IV (13 IV)	»	1,32
195	1895	L. Favre, Tuilerie, Etoy	33,5 : 16,5 : 1,5	180	zwischen gelb und gelblichweiss (No. 15—16)	»	1,42
196	1895	J. Hilfiker-Hüssy, Kölliken	35,0 : 16,0 : 1,5	54	ziegelrot (No. 7 II)	zieml. hell	1,52
197	1895	F. Kenel & Co., Moutier	35,0 : 17,0 : 1,5	36	hausrot IV (No. 6 IV)	hell	1,50
198	1895	König & Co., Glockenthal	38,0 : 16,5 : 1,6	24	hausrot III (No. 6 III)	»	1,72
199	1895	Luchsinger & Kuhnis, Oberriet	36,0 : 15,5 : 2,0	—	zwischen hell- und dunkelbiscuit	zieml. hell	1,61
200	1895	F. Marendaz, Tuilerie, Mathod	35,0 : 17,0 : 1,5 bis 1,6	93	Lederfarbe IV (No. 9 IV)	hell	1,47
201	1895	H. Meyer, Uelisbach b. Wattwyl	37,0 : 17,0 : 1,8	57	ziegelrot (No. 7 II)	»	2,03
202	1895	Mech. Ziegelfabr., Albishof, Zch.	34,5 : 17,0 : 2,0	108	dunkelbiscuit	zieml. hell	1,82

* — bedeutet, dass innerhalb der Beobachtungsdauer von 10 Stunden eine thauartige Netzung bezw.

Spez. Gewicht γ	Volumengewicht δ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Wasser-Durchlässigkeit: Zeit des Aufsaugens v. 10 cm³ Wasser Std. Min.	Wasser-Durchlässigkeit: Zeit b. zum Eintritt thauartig. Netzung d. unt. Fläch. Std. Min.	Wasser-Durchlässigkeit: Zeit b. zum Eintritt d. Tropfenbildung Std. Min.	Gehalt an: löslichen Salzen %	Gehalt an: löschfähigen Stoffen	Frostproben	Bruchfestigkeit kg/cm²: trocken β_t	Bruchfestigkeit kg/cm²: wassersatt β_n	Erweich.-Koeff. $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
B. Dachziegel.													
a) Handstrich-Ziegel.													
2,56	1,69	13,3	22,5	32,4	1 55	—*)	—*)	0,16	keine	unverändert	174	167	1,0
2,59	1,76	18	32	32	— 13	—	—	0,17	geringe Mengen	Spuren von Ablösungen	137	133	1,0
2,80	1,50	29	43	46	— 3	2 —	5 30	0,14	»	unverändert	122	113	1,1
2,78	1,45	33	48	48	— 2	— 32	3 21	0,17	keine	»	76	76	1,0
2,70	1,55	27	41	43	— 4	1 31	—	0,56	»	»	134	162	0,8
2,63	1,77	18	32	33	— 3	1 13	2 43	0,12	»	»	77	78	1,0
2,66	1,55	27	37	42	— 3	1 5	—	0,10	erhebl. Mengen	erhebl. Ablösng.	67	74	0,9
2,77	1,67	22	37	40	— 4	1 45	—	0,10	keine	unverändert	158	138	1,1
2,74	1,50	26	39	45	— 3	1 25	—	0,25	erhebl. Mengen	»	157	179	0,9
2,04	1,94	14	26	27	— 20	—	—	0,16	Spuren	»	151	129	1,1
2,84	1,56	29	44	45	— 3	1 35	5 30	0,14	keine	»	270	190	1,4
2,89	1,38	36	49	52	— 2	— 30	— 58	0,61	»	»	92	103	0,9
2,67	1,63	21	34	39	— 4	1 55	3 —	0,33	»	Spuren von Ablösungen	130	130	1,0
b) Strang-Ziegel.													
2,54	1,75	17	30	31	— 33	—	—	0,42	geringe Mengen	unverändert	214	217	1,0
2,59	1,66	22	36	36	— 5	2 3	7 3	0,11	keine	»	87	81	1,1
2,58	1,84	14	26	29	— 31	—	—	0,16	»	»	257	235	1,1
2,63	1,64	22	37	39	— 5 1/3	2 40	5 20	0,10	»	»	141	134	1,1
2,51	1,89	11	21	25	— 45 1/3	—	—	0,10	geringe Mengen	»	188	205	0,9
2,60	1,77	17	30	32	— 10	3 —	—	0,06	keine	»	83	97	0,9
2,87	1,52	29	45	47	— 4	1 15	—	0,16	»	Spuren von Ablösungen	155	142	1,1
2,76	1,59	24	38	42	— 5 1/3	2 45	—	0,16	geringe Mengen	unverändert	159	170	0,9
2,63	1,90	14	26	28	— 25	—	—	0,06	keine	»	136	139	1,0
2,43	1,71	17	28,5	30	— 27	—	—	0,10	»	»	221	226	1,0
2,69	1,66	21	34	38	— 4	1 10	—	0,49	»	»	171	176	1,0
2,51	1,57	23	36	37	— 8	8 10	—	0,70	»	»	217	211	1,0
2,57	1,67	18	30	35	— 16 1/3	—	—	0,17	»	geringe Ablösungen	225	197	1,1
2,60	1,76	17	30	32	— 13	—	—	0,20	erhebl. Mengen	unverändert	249	277	0,9
2,66	1,65	21	34	38	— 32	—	—	0,28	Spuren	»	259	246	1,1

*) Tropfenbildung nicht eingetreten ist.

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Format in cm	No. d. chem. Anal. auf Ste. 84 – 108	Brandfarbe	Klang	Stückgewicht kg
203	1895	Mech. Ziegelei, Hylpert-Oberriet	40,0 : 17,0 : 2,0	125	Orange I (No. 11 I)	hell	2,34
204	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	36,0 : 17,5 : 2,0	204	gelbweiss (No. 16)	»	1,86
205	1895	J. Schmidheiny, Kronbühl	36,0 : 17,0 : 1,7	165	biscuit	»	1,74
206	1895	Gebr. Moser, Schüppach, Emmenth.	34,5 : 17,0 : 1,8	78	lederfarbig (No. 9 I)	zieml. hell	1,66
207	1895	H. Pillichody, Yverdon	37,5 : 16,0 : 1,6	161	biscuitfarbig	»	1,65
208	1895	B. Rohner, Ziegelei, Wettingen	35,0 : 17,0 : 1,6	—	zwischen hausrot IV (6 IV) und Orange stumpf (11 IV)	»	1,71
209	1895	Savary & fils, Faoug	36,0 : 17,0 : 2,0	40	hausrot IV (6 IV)	hell	1,94
210	1895	H. Suter, Schloss Hallwyl	32,0 : 15,5 : 1,7	42	zwischen hausrot IV (6 IV) und ziegelrot (7 II)	»	1,58
211	1895	Thonwarenfabr. Tänikon b. Aadorf	36,5 : 17,5 : 1,6	172	zwischen Holzfrb. (14) hellweissgelb und stumpfer Ocker (17 III)	mässig hell	1,80
212	1895	J. Weder, Heiden	36,0 : 15,5 : 2,0	109	dunkelbiscuit	zieml. hell	2,26
213	1895	J. Weibel, Gloten-Sirnach	38,5 : 17,5 : 2,1	75	Lederfarbe (9 I) bis dunkelbiscuit	»	1,74
214	1895	J. Weibel, Ziegelei, Landquart	39,0 : 17,0 : 2,0	28	hausrot III (6 III)	mässig hell	1,78
215	1895	Gebr. Zäch, Oberriet	23,0 : 15,0 : 1,8	113	dunkelbiscuit	hell	1,77
216	1895	Zbinden, frères, Payerne	35,0 : 16,5 : 1,8	—	zwischen ziegelrot und Fleischfarbe (7 II u. 10)	»	1,64
217	1895	Ziegelei Ersigen, b. Burgdorf	36,0 : 17,5 : 1,8	—	hausrot II (6 II)	zieml. hell	2,05
		c) Strangfalz-Ziegel.					
218	1888	Backsteinfabr. Zollikofen u. Rehhaag	40,0 : 21,5 : 1,7	—	rotbraun	—	—
219	1890	Jakob Ernst, Ziegelei, Aarau	40,0 : 21,0 : 1,8	—	blass rosa	—	—
220	1890	» » » »	40,0 : 21,0 : 1,8	—	bräunlichrot	—	—
221	1890	» » » »	40,0 : 21,0 : 1,8	—	hellziegelrot	—	—
222	1894	» » » »	39,0 : 21,0 : 1,4 bis 2,05	—	aschgrau	—	—
223	1894	» » » »	39,0 : 21,6 : 1,35 bis 2,10	—	braunrot	—	—
224	1894	» » » »	39,0 : 21,5 : 1,3 bis 2,0	—	rötlichgelb	—	—
225	1895	G. A. Bourry & Co., Horn	40,0 : 21,0 : 1,7	100	zwischen hellbiscuit und Fleischfarbe (10)	zieml. hell	2,27
226	1895	Curchod, Barraud & Cie., Bussigny	39,7 : 21,0 : 1,7	39	hausrot IV (6 IV)	hell	2,65
227	1895	Jakob Ernst, Ziegelei, Aarau	39,0 : 22,0 : 1,0 bis 2,0	181	zwischen gelbweiss und gelb (16 u. 15)	zieml. hell	2,39
228	1895	Backsteinfabrik Eymatt, Kt. Bern	40,5 : 21,0 : veränderlich	53	ziegelrot II (7 II)	»	2,37
229	1895	» » »	37,5 : 20,0 : 1,0	2	schwarz (blau gedämpft ?)	»	1,53
230	1895	» » »	40,5 : 21,0 : 1,0 bis 1,2	3	» » »	»	2,44
231	1895	A. Ganz, Thonwarenfabr., Embrach	41,0 : 22,0 : 1,8	110	dunkelbiscuit	»	2,18
232	1895	Gebr. v. Gunten, Uettligen b. Bern	38,5 : 21,2 : 1,8	102	fleischfarbig	»	2,23
233	1895	J. Hilfiker-Hüssy, Kölliken	38,0 : 20,0 : veränderlich	55	ziegelrot (7 II)	»	2,35
234	1895	König & Co., Ziegelei, Glockenthl.	39,0 : 21,0 : 1,2 bis 2,0	—	zwischen Fleischfarbe (10) und hausrot (III)	»	2,26

Spec. Gewicht	Volumengewicht	Wasseraufnahme	Porosität		Wasser-Durchlässigkeit			Gehalt an		Frostproben	Bruchfestigkeit kg/cm²		
			scheinbar	absolut	Zeit des Aufsaugens v. 10 cm³ Wasser	Zeit b. zum Eintritt thauartig. Netzung d. unt. Fläch.	Zeit b. zum Eintritt d. Tropfenbildung	löslichen Salzen	löschfähigen Stoffen		trocken	wassersatt	Erweich.-Koeff. $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
γ	δ	%	n' %	n %	Std. Min.	Std. Min.	Std. Min.	%			β_t	β_n	
2,41	1,79	11	20	26	> 10 Std.	—	—	0,15	keine	unverändert	374	452	0,8
2,97	1,53	30	47	48	— 3	1 55	4 01	0,15	»	»	269	257	1,0
2,77	1,62	26	42	42	— 7	—	—	0,38	»	erhebl. Ablösng.	175	180	1,0
2,62	1,64	23	38	37	— 5	—	—	0,15	»	unverändert	120	107	1,1
2,48	1,66	20	33	33	2 04	—	—	0,20	geringe Mengen	»	184	193	1,0
2,59	1,66	20	33	36	— 8	3 27	1 Prob. 6 Std. die andern —	0,27	keine	»	121	125	1,0
2,63	1,66	20	32	37	— 5⅜	1 56	—	0,18	»	»	150	151	1,0
2,58	1,91	12	24	26	— 25	—	—	0,07	»	»	238	227	1,0
2,92	1,44	30	43	51	— 3	1 10	3 15	1,64	»	»	135	168	0,8
2,71	1,59	23	37	41	— 4	1 40	5 30	0,32	»	»	213	184	1,2
2,64	1,71	20	35	35	— 8	—	—	0,24	»	»	181	157	1,2
2,69	1,35	38	51	50	— 2	1 09	1 45	0,09	»	geringe Ablösungen	158	153	1,0
2,50	1,97	6	12	21	> 10 Std.	—	—	0,20	»	unverändert	282	293	1,0
2,61	1,70	17	29	35	— 12⅛	3 07	—	0,20	geringe Mengen	»	139	134	1,0
2,55	1,80	16	28	29	— 13	—	—	0,08	keine	»	176	153	1,1
					c) Strangfalz-Ziegel.								
2,60	1,71	17,8	30,4	34,7	> 10 Std.	—	—	0,012	keine	—	147	127	1,2
2,66	1,76	19,9	—	33,8	> 10 Std.	—	—	0,11	»	unverändert	282,5	284	1,0
2,68	1,77	17,2	—	33,9	> 10 Std.	—	—	0,21	»	»	299	232	1,3
2,70	1,71	21,3	—	36,7	> 10 Std.	—	—	0,29	»	»	312	318	1,0
2,69	1,73	24	41,5	35,7	— 9	3 15	—	0,24	»	Spur von Ablösungen	241	236	1,0
2,69	1,72	20	34,4	36,1	— 7	6 —	—	0,23	»	unverändert	229	238	1,0
2,78	1,69	23,9	40,4	39,2	— 4	9 —	—	0,24	»	2 Stck. zeig. Spuren, die andern 2 erhebl. Ablösungen	178	188	0,9
2,68	1,55	23	36	42	— 4⅛	2 —	—	0,19	»	unverändert	110	105	1,0
2,49	1,88	13	24,5	25	— 56⅛	—	—	0,16	»	»	231	202	1,1
2,69	1,67	24	41	38	— 5	—	—	0,07	»	»	144	142	1,0
2,63	1,85	16	30	30	— 7	—	—	0,09	geringe Mengen	1 Körper unver., beim anderen ein Stück abgesprengt	109	116	0,9
2,64	1,84	16	29	30	> 10 Std.	—	—	0,17	keine	unverändert	73	71	1,0
2,66	1,80	15	28	32	> 10 Std.	—	—	0,12	»	»	130	122	1,1
2,64	1,66	19	31	37	— 13	—	—	0,22	erhebl. Mengen	»	148	142	1,0
2,67	1,62	24	38	39	— 5	4 —	—	0,10	keine	»	123	125	1,0
2,61	1,87	14	26	28	— 27	—	—	0,06	»	»	153	137	1,1
2,70	1,59	26	41	41	— 3	2 16	—	0,26	»	»	196	173	1,1

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Format in cm	No. d. chem. Anal. auf Ste. 84—103	Brandfarbe	Klang	Stückgewicht kg
235	1895	Luchsinger & Kuhni, Oberriet	36,5 : 19,5 : 2,0	112	ziemlich dunkelbiscuit	zieml. hell	2,01
236	1895	Mech. Ziegelfabr. Albishof, Zch.	37,5 . 21,0 : 1,6 bis 2,1	73	Lederfarbe (9 I)	hell	2,14
237	1895	Mech. Backsteinfabrik, Zürich	40,5 : 21,0 : 2,0	107	dunkelbiscuit	zieml. hell	2,51
238	1895	J. Schmidheiny, Heerbrugg	42,0 : 21,5 : veränderlich	114	dunkelbiscuit mit Stich ins rötliche	hell	2,42
239	1895	Savary & Cie., Faoug	39,5 : 21,3 : 1,5	41	hausrot IV (6 IV)	»	2,46
240	1895	Thonwarenfabrik Tänikon	39,1 : 20,6 : 1,8	173	zwischen hellbiscuit bis hellweissgelb (16)	»	2,20
241	1895	Tuilerie mec. de Lentigny	39,5 : 21,5 : 1,7	178	hellgelb, stellenweise biscuitartig geflammt	»	2,29
242	1895	» » » »	38,5 : 10,5 : 1,6	19	hausrot III (6 III)	zieml. hell	2,24
243	1895	Widmer & Wunderli, Richterswl.	39,5 : 21,5 : 2,0	74	lederfarbig (9 I)	hell	2,76
244	1895	Ziegelei Ersigen b. Burgdorf	37,5 : 21,0 : 1,7	64	rostrot (8)	zieml. hell	2,57
245	1896	Briqueterie méc. d'Yverdon	39,0 : 21,5 : 1,5 bis 2,0	—	fleischfarbig mit Abstufung ins gelbe	»	2,36
246	1897	Jakob Ernst, Ziegelei, Aarau	41,5 : 2,0 : veränderlich	—	fleischfarbig	»	2,65
247	1897	König & Co., Glockenthal	39,0 : 20,5 : veränderlich	—	hausrot III bis IV	»	2,49
248	1897	» »	39,0 : 20,5 : veränderlich	—	do.	»	2,52
249	1898	Ziegelei Hochdorf	34,5 : 19,0 : 2,1	—	fleischfarbig I	mässig hell	2,70
		d) Pressfalz-Ziegel.					
250	1895	Backsteinfabr. Zollikofen u. Rehhaag	42,5 : 24,0 : 1,3	160	teils weissgelb, teils dunkelgelb	hell	3,11
251	1895	Dampfziegelei Heuriet, Zürich	42,0 : 22,5 : 1,3	65	rostfarbig (8)	zieml. hell	2,26
252	1895	Mech. Backsteinfabrik Zürich	42,0 : 22,5 : 1,8	71	lederfarbig (9 I)	hell	3,19
253	1895	» » »	38,0 : 22,0 : veränderlich	163	biscuit	»	2,84
254	1895	Noppel & Co., Emmishofen	38,0 : 23,0 : 1,2	82	zwisch. Fleischfrb. (No. 10) und hausrot IV (6 IV)	zieml. hell	2,48
255	1895	Société technique à Neuchâtel	44,0 : 24,0 : 1,5	37	hausrot IV (6 IV)	hell	3,78
256	1895	Société anonyme, Quadri, Couvet	41,0 : 24,0 : 1,6 bis 1,8	48	ziegelrot II (7 II)	»	3,09
257	1895	Thonwarenfabrik Laufen	42,0 : 22,5 : 1,1 bis 1,4	26	wechselnd, vorwiegend hausrot III (6 III)	»	2,75
258	1895	J. Weibel, Gloten-Sirnach	38,5 : 23,0 : 1,5 bis 2,0	208	gelbweiss, Stich ins rötliche	zieml. hell	2,84
259	1896	Briqueterie, mec. d'Yverdon	43 : 23,5 : 3,25	—	Stumpfer Ocker III (17 III) und Fleischfarbe (No. 10)	hell	2,38
260	1897	Backsteinfabr. Zollikofen u. Rehhaag	43,0 : 22,5 : 1,5	—	hellfleischfarbig	»	2,97
261	1898	Ziegelei Hochdorf	39,0 : 22,7 : veränderlich	—	fleischfarbig I	mässig hell	2,62
		e) Hohlstrang-Ziegel.					
262	1895	J. J. Keller, Schloss Teufen	35,0 : 20,0 : 2,3	222	Stumpfocker III	zieml. hell	2,18
263	1895	Thonwarenfabrik Tänikon	39,0 : 21,2 : 2,2	200	zwischen hellbiscuit und gelbweiss	angemess. hell	2,30
264	1895	J. Weder, Heiden	39,5 : 18,5 : 2,0	170	hell-dunkelbiscuit bis lederfarbig, (Holzfarbe II)	hell	2,16

Spez. Gewicht γ	Volumengewicht δ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Wasser-Durchlässigkeit: Zeit des Aufsaugens v. 10 cm³ Wasser Std. Min.	Wasser-Durchlässigkeit: Zeit b. zum Eintritt thauartig. Netzung d. unt. Fläch. Std. Min.	Wasser-Durchlässigkeit: Zeit b. zum Eintritt d. Tropfenbildung Std. Min.	Gehalt an löslichen Salzen %	Gehalt an löschfähigen Stoffen	Frostproben	Bruchfestigkeit kg/cm²: trocken β_t	Bruchfestigkeit kg/cm²: wassersatt β_n	Erweich.-Koeff. $\frac{\beta_t}{\beta_n}$
2,50	1,56	20	31	38	— 57	—	—	0,32	keine	unverändert	243	217	1,0
2,55	1,65	19	31	35	— 34	—	—	0,38	Spuren	»	210	181	1,2
2,55	1,69	18	30	34	— 37	—	—	0,14	keine	»	256	276	0,9
2,63	1,51	26	40	43	— 5	4 39	7 40	0,37	»	»	196	202	1,0
2,61	1,78	18	33	32	— 5⅓	1 27	—	0,20	geringe Mengen	»	108	130	0,8
2,80	1,58	27	42	44	— 4	5 —	—	0,98	keine	»	182	170	1,1
2,74	1,65	26	42	40	— 3⅔	7 20	—	0,21	»	»	147	140	1,1
2,62	1,81	13	24,1	31	— 5⅔	3 —	—	0,08	»	»	134	140	1,0
2,58	1,70	19	32	34	— 21	—	—	0,32	erhebl. Mengen	»	236	239	1,0
2,55	1,83	17	31	28	— 19	—	—	0,12	keine	»	146	149	1,0
2,85	1,62	26	42	43	— 3½	— 3½	—	0,19	»	»	174	162	1,1
2,75	1,65	22	36	40	4 —	— 2½	—	1,41	»	erhebl. Ablösng.	182	179	1,0
2,74	1,63	23	38	40	— 6	— 8	8 30	—	—	—	181	160	1,1
2,70	1,64	22	36	39	— 59	—	—	—	—	—	177	156	1,1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	unverändert	169	197	0,9
d) Pressfalz-Ziegel.													
2,68	1,73	20	35	35	— 5	4 30	—	0,10	keine	unverändert	194	220	0,9
2,49	1,84	12	22	26	1 53	—	—	0,16	»	»	294	212	1,4
2,67	1,69	19	32	37	1 01	—	—	0,08	»	»	310	309	1,0
2,63	1,67	19	32	37	— 38	—	—	0,14	»	»	331	294	1,1
2,58	1,78	17	30	31	— 13	—	—	0,48	»	»	237	236	1,0
2,65	1,74	13	22	34	— 11	—	—	0,36	geringe Mengen	»	163	127	1,3
2,65	1,74	21	37	34	— 21	—	—	0,55	Spuren	»	243	217	1,1
2,53	1,70	18	31	33	— 19	—	—	0,38	geringe Mengen	»	247	272	0,9
2,64	1,65	22	37	38	— 9	—	—	0,30	keine	»	260	208	1,3
2,74	1,67	24	40	39	— 4	— 3	3 45	0,15	»	»	191	195	1,0
2,77	1,72	20	35	38	— 5	— 5	—	0,16	»	»	222	204	1,1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	bei 1 Körper 1 Stück abgesprengt die andern 3 unveränd.	216	201	1,1
e) Hohlstrang-Ziegel.													
2,68	1,60	19	31	38	— 13	—	—	0,20	erhebl. Mengen	unverändert	215	238	0,9
2,86	1,41	36	51	51	— 3	1 30	5 05	0,13	keine	1 Körp. unverändert, der andere zeigt geringe Ablösung.	260	283	0,9
2,62	1,73	20	35	34	— 7	—	—	0,32	»	unverändert	187	197	0,9

C. Belagsplatten.

Versuchsresultate mit Belagsplatten liegen nur spärlich vor; vorwiegend waren es Bodenbelagsplatten, hervorgegangen als Produkte der Cementwaren-Industrie, ausnahmsweise importierte Platten der Thonwaren-Industrie, die hauptsächlich zur Prüfung der Widerstandsfähigkeit gegen Abnützung durch Schleifversuche gelangten. Mit Rücksicht auf die an sich geringe Zahl dieser Versuche, ferner mit Rücksicht auf eine bessere Übersicht über die gewonnenen Resultate, geben wir an dieser Stelle das verfügbare Material ohne Rücksicht auf die Art der Entstehung der Ware wieder.

a. Antrag des Herrn *J. Bäumlin,* Zürich III; 1887.

Versuchsmaterial.

Platte No. 1: 20 × 20 cm; erzeugt nach *Blatts*-Verfahren; grauschwarz;
» **2:** 20 × 20 cm; » » » » ; grauschwarz;
» **3:** 20 × 20 cm; » » » » ; grauschwarz;
» **4:** 20 × 20 cm; » » » » ; schwarz;
» **5:** 20 × 10 cm; » » » » ; mit Serpentin-Einlagen.
» **6:** Dessinplatte, Fabrikat des Herrn *Graf,* Winterthur;
» **7:** Mettlacher-Mosaikplatte (ungebrannt);
» **8:** Cementplatte, Fabrikat des Herrn *Buchner,* Zürich III;
» **9:** Terrazzoplatte; Fabrikat des Herrn *Odoriko,* Zürich.

Die Widerstandsfähigkeit gegen Abnützung wurde durch Herrn Prof. *J. Bauschinger,* München, nach dessen Schleifverfahren bestimmt und ergab folgende Resultate:

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Art der Teilung der Platten	Anzahl der abgeschliffenen Teilstücke	Bezeichnung	Abmessungen der Schlieffläche cm	Abnützung für 200 Umdrehungen d. Gussscheibe reduziert auf den Normalradius von 49 cm: 1 mal gr	2 mal gr	3 mal gr	Mittel gr
265	Grauschwarz, No. 1	in 4 gleiche Teile	2	a	9,7 × 9,6	42,7	36,4	43,9	41,0
				b	9,8 × 9,0	35,8	36,2	42,5	38,2
						durchschnittlich:			39,6
266	Grauschwarz, No. 2	in 4 gleiche Teile	2	a	9,5 × 9,6	31,9	35,4	33,1	33,5
				b	9,6 × 9,8	41,0	38,2	40,4	39,9
						durchschnittlich:			36,7

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Art der Teilung der Platten	Anzahl der abgeschliffenen Teilstücke	Bezeichnung	Abmessungen der Schleiffläche cm	Abnützung für 200 Umdrehungen d. Gussscheibe reduziert auf den Normalradius von 49 cm: 1 mal gr	2 mal gr	3 mal gr	Mittel gr
267	Grauschwarz, No. 3	in 4 gleiche Teile	2	a	9,8 × 9,7	34,5	44,5	29,8	36,3
				b	9,6 × 9,5	39,0	31,6	46,1	38,9
								durchschnittlich:	37,6
268	Schwarz, No. 4	in 4 gleiche Teile	2	a	9,6 × 9,6	32,6	30,4	31,2	31,4
				b	9,5 × 9,5	36,3	36,3	29,4	34,0
								durchschnittlich:	32,7
269	1/2 Platte	in 2 gleiche Teile	2	a	9,0 × 10,0	23,4	24,7	28,4	25,5
				b	9,3 × 7,5	22,2	28,1	32,1	27,5
								durchschnittlich:	26,5
270	H. Graf	in 4 gleiche Teile	2	a	9,6 × 9,5	38,1	41,7	43,2	41,0
				b	9,6 × 9,6	38,1	38,3	47,1	41,2
								durchschnittlich:	41,1
271	Mettlacher (Mosaik)	in 2 Teile	2	a	9,0 × 10,0	12,6	12,6	13,8	13,0
				b	7,0 × 6,5	11,1	10,4	11,0	10,8
								durchschnittlich:	11,9
272	C. Buchner	in 3 Teile	2	a	10,0 × 10,0	37,2	33,8	35,2	35,4
				b	10,0 × 10,0	36,4	38,6	34,9	36,6
								durchschnittlich:	36,0
273	No. b.	in 3 Teile	2	a	10,0 × 10,0	29,4	29,4	28,3	29,0
				b	10,0 × 10,0	26,4	32,2	26,6	28,4
								durchschnittlich:	28,7

b. Antrag des Herrn Architekt *Tièche,* Bern; 1898.

Versuchsmaterial.

No. 1, eine **Bodenplatte** von 16,00 × 16,06 × 1,74 cm; die Platte hat hellen Klang, ist reinfarbig, bräunlichgelb; Kanten scharf, Oberfläche tadellos, eben und glatt. Die Kanten der untern Fläche sind abgefast; sie trägt eingepresste Carrées sowie die Bezeichnung der Firma: *F. Pabst.*

No. 2, eine **Bodenplatte** von 15,88 × 16,03 × 1,84 cm; die Platte hat hellen Klang, ist reinfarbig, bräunlichgelb; Kanten sind geradlinig und scharf;

Oberfläche tadellos, eben und glatt. Das Korn ist etwas feiner als dasjenige der Platte No. 1. Die Kanten der untern Fläche sind abgefast; letztere trägt 2 erhabene Ringe, innerhalb des kleinern Ringes erscheint die Bezeichnung der Firma: *Utzschneider & J. Jaunez*, Saargemünd, aufgepresst.

Chemische Zusammensetzung des Materials.

Mittel aus je 2 Bestimmungen.

Gehalt an:	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$CaSO_3$	Feuchtigkeit
Platte No. 1:	55,44 %	21,40 %	2,20 %	18,37 %	2,06 %	1,41 %	0,30 %
Platte No. 2:	52,66 »	22,98 »	2,67 »	18,12 »	2,26 »	1,41 »	0,37 »

Resultate der Bruchproben.

Freilage: 14,0 cm; *Kraftwirkung* in der Plattenmitte, verteilt auf die Plattenbreite.

Bruchbelastung bei Platte No. 1: B = 476 kg.
„ „ „ No. 2: B = 475 kg.

Die Scherben der Bruchproben zeigen homogene Beschaffenheit und gesinterte Masse; demnach besitzen sie nur Spuren von Wassersaugkraft; immerhin war diejenige der Platte No. 1 grösser als jene der Platte No. 2.

Resultate der Schleifproben.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Art der Teilung der Platten	Anzahl der abgeschliffenen Teilstücke	Bezeichnung	Abmessungen der Schleiffläche cm	Abnützung für 200 Umdrehungen d. Gussscheibe reduziert auf den Normalradius von 50 cm: Abschliff 1 mal gr	2 mal gr	3 mal gr	Mittel in gr	Mittel in cm³
274	Pabst No. 1	in 4 gleiche Teile	2	a	6,01 × 6,12	18,35	20,85	21,10	20,10	8,80
				b	6,02 × 6,14	21,15	20,75	17.55	19,82	8,70
						durchschnittlich:			19,96	8,75
275	Utzschneider No. 2	in 4 gleiche Teile	2	a	6,05 × 6,12	9,25	13,65	11,30	11,40	4,90
				b	6,03 × 6,11	9,80	12,45	9,10	10,45	4,50
						durchschnittlich:			10,93	4,70

Das *specifische Gewicht* der Versuchsobjekte betrug:

bei No. 1, Platte von *Pabst:* 2,28,
„ No. 2, „ „ *Utzschneider:* 2,31.

c. Antrag des Herrn *J. Jungblut,* Baumaterialien-Handlung, Zürich; 1898.

Versuchsmaterial.

No. 1, zwei mit A_1 und A_2 bezeichnete **Platten** von 15,86 × 15,73 × 1,76 cm bezw. 15,88 × 15,88 × 1,78 cm. Die Platten haben hellen Klang; sind rötlichgelb, Kanten sind geradlinig und scharf, Oberfläche tadellos, eben und glatt. Die Kanten der untern Fläche sind abgefast; sie trägt eingepresste Carrées sowie die Bezeichnung der Firma: *F. Pabst.*

No. 2, zwei mit B_1 und B_2 bezeichnete **Platten** von 16,06 × 16,06 × 1,94 cm bezw. 16,01 × 16,16 × 1,95 cm. Die Platten haben hellen Klang, sind gelblich mit Stich ins bräunliche. Der Farbton der Platten No. 2 ist heller als jener der Platten No. 1. Die Kanten sind geradlinig und scharf, Oberfläche tadellos, eben und glatt. Die Platten No. 2 sind etwas weniger rauh als jene No. 1. Die Kanten der untern Fläche sind abgefast; letztere trägt 2 erhabene Ringe, innerhalb des kleinern Ringes ist die Bezeichnung der Firma: *Utzschneider & Ed. Jaunez,* Saargemünd, nebst Schutzmarke untergebracht.

Chemische Zusammensetzung des Materials.

Mittel aus 2 Bestimmungen.

Gehalt an:	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$CaSO_4$	H_2O	Alk. a./D.
				Platten No. 1.				
A_1:	52,89 %	24,16 %	1,41 %	16,89 %	2,34 %	1,00 %	0,32 %	0,99 %
A_2:	54,29 »	23,95 »	1,70 »	16,24 »	2,44 »	0,51 »	0,22 »	0,65 »
				Platten No. 2.				
B_1:	52,78 %	24,54 %	1,41 %	18,24 %	2,26 %	0,63 %	0,52 %	—
B_2:	52,97 »	23,49 »	1,81 »	18,57 »	2,12 »	0,81 »	0,23 »	—

Resultate der Bruchproben.

Freilage: 14,0 cm; *Kraftwirkung* in der Plattenmitte, verteilt auf die Plattenbreite.

Bruchbelastung: bei Platte A_1 . . . 462,0 kg
» » A_2 . . . 445,0 „
Mittel 453,5 kg
» » B_1 . . . 545,0 kg
» » B_2 . . . 628,0 „
Mittel 586,5 kg

Die Scherben der Bruchproben zeigen homogene Beschaffenheit; Gefüge entspricht jenem der Klinkerwaren; Material ist gesintert, nimmt daher nur Spuren von Wasser auf. Immerhin ist die Wassersaugkraft der Platten A grösser, als diejenige der Platten B.

Resultate der Schleifproben.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Art der Teilung der Platten	Anzahl der abgeschliffenen Teilstücke	Bezeichnung der abgeschliffenen Teilstücke	Abmessungen der Schleiffläche cm	Abnützung für 200 Umdrehungen d. Gussscheibe reduziert auf den Normalradius von 50 cm Abschliff 1 mal gr	2 mal gr	3 mal gr	Mittel in gr	Mittel in cm³
276	Pabst A_1	in 4 gleiche Teile	2	a	5,42 × 5,83	7,95	9,20	11,26	9,47	3,70
				b	5,68 × 5,30	8,23	10,52	10,48	9,74	3,80
						durchschnittlich:			9,60	3,75
277	Pabst A_2	in 4 gleiche Teile	2	a	6,15 × 6,19	11,65	13,65	11,20	12,17	4,70
				b	6,22 × 6,23	11,26	10,98	11,85	11,36	4,40
						durchschnittlich:			11,76	4,55
278	Utzschneider & Jaunez B_1	in 4 gleiche Teile	2	a	6,03 × 6,17	7,89	9,75	10,21	9,28	3,50
				b	6,19 × 6,04	7,29	8,65	9,25	8,40	3,20
						durchschnittlich:			8,84	3,35
279	Utzschneider & Jaunez B_2	in 4 gleiche Teile	2	a	6,13 × 6,14	7,09	8,75	8,81	8,22	3,10
				b	6,18 × 6,22	9,24	8,21	11,00	9,48	3,60
						durchschnittlich:			8,85	3,35

Die *specifischen Gewichte* der Versuchsobjekte wurden ermittelt zu:

$\gamma = 2{,}58$ für A_1 Platte von Pabst.
$\gamma = 2{,}59$ „ A_2 „ „ „
$\gamma = 2{,}64$ „ B_1 „ „ „ Utzschneider & Jaunez
$\gamma = 2{,}63$ „ B_2 „ „ „ „ „

d. Antrag des Herrn *Oberst F. Locher* für die Thonwarenfabrik *Embrach* A.-G., Zürich.

Versuchsmaterial.

No. 1, ein **Pflasterstein,** 20,0 × 10,0 × 8,0 cm, Rostolith; reinfarbig, hellgelb; Oberflächenbeschaffenheit tadellos, ziemlich glatt, ebenflächig.

No. 2, zwei **Trottoirplatten,** 16,0 × 16,0 × 2,5 cm; die eine Platte ist dem Pflastersteine No. 1 ähnlich, ist also **Rostolith**; die andere ist eine **Keramitplatte** der Keramitfabrik Hungaria in Budapest. Beide Platten haben hellgelbe Farbe; sie sind reinfarbig; fleckenlos, besitzen hellen Klang und tadellose Oberflächenbeschaffenheit. Die untern Flächen der Platten sind eben; die Laufflächen in der Mitte nach 2 senkrecht zu einander stehenden Richtungen, kanneliert.

Druckfestigkeit des Materials,

erhoben an Würfeln von 7 cm Kantenlänge, welche dem Pflastersteine entnommen sind.

Rostolith von Embrach.

Im Mittel aus 3 Versuchen . . . . β_d = 5136 kg/cm²,
dabei betrug der Grösstwert . . „ = 5253 „ ,
der Kleinstwert . . „ = 5099 „ .

Bruchstücke ergaben homogenes Gefüge, ohne Wassersaugkraft.

Keramit von Budapest.

Im Mittel aus 12 Versuchen . . . . β_d = 3781 kg/cm² *),
dabei betrug der Grösstwert . . „ = 4592 „ ,
der Kleinstwert . . „ = 3092 „ .

Resultate der Schleifproben.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Art der Teilung der Platten	Anzahl der abgeschliffenen Teilstücke	Bezeichnung	Abmessungen der Schleiffläche cm	Abnützung für 200 Umdrehungen d. Gussscheibe reduziert auf den Normalradius von 50 cm: Abschliff 1 mal gr	Abschliff 2 mal gr	Mittel in gr	Mittel in cm³
280	**Rostolith-Platte** v. Embrach	in 4 gleiche Teile	4	a	7,60 × 7,32	7,90	7,50	7,70	3,16
				b	7,69 × 7,70	8,00	7,80	7,90	3,24
				c	7,35 × 7,38	6,90	7,00	6,95	2,85
				d	7,59 × 7,33	7,50	7,20	7,35	3,02
						durchschnittl.		7,48	3,07
281	**Keramit-Platte** v. Budapest	in 4 gleiche Teile	4	a	7,50 × 7,57	7,80	9,10	8,45	3,58
				b	7,65 × 7,58	8,60	9,10	8,85	3,76
				c	7,54 × 7,70	9,00	8,90	8,95	3,80
				d	7,59 × 7,62	8,70	9,60	9,15	3,88
						durchschnittl.		8,85	3,76

Hiebei betrug das *specifische Gewicht* der Versuchsobjekte:

beim *Rostolith* . . . . . γ = 2,44,
„ *Keramit* . . . . . γ = 2,36.

*) Nach Ermittlungen des Herrn Prof. *D. Nagy*, Vorsteher der Materialprüfungs-Anstalt an der technischen Hochschule zu Budapest.

Lauf. No.	No. der Zusammenstellungen auf Ste. 106 u. f..	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Bezeichnung der Ware	Brandfarbe		
					Bezeichnung der Farbe	Bezeichnung nach der neuen schweiz. Farbskala	
			D. Anhang.				
			a) Handsteine.				
282	19	1895	Joh. Ehrat, Lohn b. Schaffhausen	Vollstein	rötlichgrau	No. 8	im Bruch hausrot III
283	24	1895	J. J. Keller, Schloss Teufen	Hinter-mauerungsst.	ziegelrot-artig	—	—
284	36	1895	J. Walser & Co., Winterthur	Kaminstein	hellbiscuit	—	—
285	37	1895	G. Weber, Ziegelei, Lohn	»	hellgelbl. bis lederfarbig	—	—
286	38	1895	» » »	Erz-Vollstein	rot	No. 10	ziegelrot 10 II
287	—	1895	Joh. Ehrat, Lohn	Backofenplatte	—	» 9	Lederfarbe II
			b) Maschinen-Vollsteine.				
288	55	1895	Fr. Brand, Grünenmatt b. Ramsey	Kaminstein	—	No. 15	Lederfarbe II
289	61	1895	H. Meyer, Uelisbach b. Wattwyl	Hinter-mauerungsst.	fleischfarbig	—	—
290	62	1895	Mech. Ziegelei, Hylpert-Oberriet	Kaminstein	missfarbig geflammt	—	—
			c) Lochsteine.				
291	93	1895	G. A. Bourry & Co., Horn	Verblender	biscuitfarbig	—	—
292	125	1895	J. Walser & Co., Winterthur	Lochstein	—	No. 39	stumpf. Ocker-artig III
293	126	1895	J. Weder, Heiden	»	fleischfarbig	–	—
			d) Hohlsteine.				
294	167	1895	Société technique de Neuchâtel	Hohlstein	fleischfarbig	—	—
			e) Handstrich-Ziegel.				
295	181	1895	J. J. Huzli, Gstaad b. Saanen	Dachziegel	ziegelrot	No. 12	ziegelrot leuchtend IV
			f) Strang-Ziegel.				
296	199	1895	Luchsinger & Kuhnis, Oberriet	Dachziegel	dunkel-biscuit	No. 18	angenähert Fleischfarbe I
297	208	1895	B. Rohner, Wettingen	»	biscuitartig	—	—
298	216	1895	Zbinden, frères, Payerne	»	rot	No. 9	angenähert ziegelrot I
299	217	1895	Ziegelei Ersigen	»	—	» 8	hausrot III
			g) Strangfalz-Ziegel.				
300	234	1895	König & Co., Glockenthal	Strangfalz-ziegel	—	No. 18	vorwiegend fleischfarbig I

Chemische Zusammensetzung des Materials								Summe der nicht flüchtigen Bestandteile	Summe, dividiert durch Summe der Flussmittel	$\frac{CaO}{Fe_2O_3}$
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Glühverlust	Alkalien als Differenz			
D. Anhang.										
a) Handsteine.										
57,30	27,84	11,57	0,87	1,22	0,25	0,27	0,68	99,48	6,94	0,08
74,51	10,15	5,52	4,07	2,89	0,16	0,54	2,16	99,30	6,78	0,74
71,24	9,90	5,60	8,40	2,94	0,09	0,18	1,65	99,73	5,36	1,50
71,06	15,22	3,89	3,33	1,44	0,34	3,51	1,21	96,15	9,74	0,85
65,18	22,20	9,57	0,73	1,20	0,11	0,59	0,42	99,30	8,33	0,08
66,85	23,88	4,79	1,20	1,23	0,32	0,76	0,97	98,92	12,08	0,25
b) Maschinen-Vollsteine.										
79,44	11,05	3,85	2,43	1,99	0,49	—	0,75	99,51	11,03	0,63
70,47	11,30	4,93	9,20	2,50	0,21	0,60	0,79	99,19	5,69	1,86
62,86	18,47	6,53	6,17	2,00	0,21	0,70	3,06	99,09	5,58	0,94
c) Lochsteine.										
66,40	11,90	5,07	13,43	2,28	0,16	0,37	0,39	99,47	4,70	2,65
69,12	8,21	3,96	12,10	3,50	0,23	1,02	1,86	98,75	4,61	3,05
65,70	14,43	5,57	8,20	3,59	0,39	0,32	1,80	99,29	5,18	1,47
d) Hohlsteine.										
71,50	15,96	4,56	1,68	2,02	0,21	0,34	3,73	99,45	8,29	0,37
e) Handstrich-Ziegel.										
71,94	13,32	4,39	4,94	0,74	Spur	0,95	3,02	99,05	7,57	1,12
f) Strang-Ziegel.										
60,56	20,83	5,97	7,76	1,85	0,69	0,97	1,37	98,34	5,80	1,30
71,33	13,29	4,78	5,07	2,35	0,31	0,57	2,30	99,12	6,84	1,06
72,04	12,58	3,59	2,97	2,36	Spur	0,56	5,90	99,44	6,71	0,83
76,70	13,26	3,74	0,88	1,66	»	0,31	3,45	99,69	10,25	0,24
g) Strangfalz-Ziegel.										
64,18	15,23	4,63	9,83	2,91	Spur	0,46	2,76	99,54	4,94	2,12

3. Resultate der Untersuchung der Produkte ausländischer Ziegelfabriken

aus den Jahren 1883 bis einschliesslich 1898.

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Anzahl und Abmessungen der Löcher	Format in cm	Brandfarbe, alte Bezeichnung
		A. Mauer- und Formsteine.			
		Hohlsteine.			
301	1888	Patentziegelei Konstanz	2 à 2,0 × 2,0	13,0 : 12,3 : 7,0	hellgelblichrot, fleischfarbähnlich
302	1889	» »	1 à 2,5 × 2,5	6,9 : 6,8 : 12,2	hochrot
303	1889	» »	1 à 2.5 × 2,5	7,0 : 7,15 : 12,3	»
304	1889	» »	2 à 2,5 × 2,5	12,3 : 12,0 : 6,9	»
305	1892	Dampfziegelei Süssen b. Göppingen	2 à 2,5 × 2,5	24,5 : 12,0 : 7,0	rötlichbraun (hell lederfarbig)

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Format in cm	Brandfarbe, alte Bezeichnung	Klang	Stückgewicht kg
		B. Dachziegel.				
		a) Pressfalz-Ziegel.				
306	1888	Grande Tuilerie de Bourgogne à Montchamie-les-Mines	24 : 41	rötlichbraun	hell	3,20
		b) Hohlstrangfalz-Ziegel.				
307	1888	Patentziegelei Konstanz	21 : 41 : 25 mit 6 ca. 1,8 × 0,9 cm weiten Löchern	fleischfarbig	hell	—

*) — bedeutet, dass innerhalb der Beobachtungsdauer von 10 Stunden eine thauartige Netzung ber

3. Resultate der Untersuchung der Produkte ausländischer Ziegelfabriken

aus den Jahren 1883 bis einschliesslich 1898.

Klang	Stück-gewicht kg	Spec. Gewicht γ	Volumen-gewicht δ	Wasser-aufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Gehalt an löslichen Salzen %	Gehalt an löschfähigen Stoffen	Frostproben	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken β_t	Druckfestigkeit, kg/cm² wassersatt β_n	Erweich.-Koeffizient $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
A. Mauer- und Formsteine.												
Hohlsteine.												
[illegible]	—	2,70	—	16,20	—	37,6	0,15	keine		143,0	139,0	1,0
»	—	2,58	1,78	13,70	--	31,0	0,24	erhebl. Mengen	—	99,0	129,0	0,8
»	—	2,72	1,85	13,10	—	32,0	—	geringe Mengen	—	110,0	103,0	1,1
»	—	2,70	1,92	12,30	—	29,0	0,23	keine	—	99,0	103,0	1,0
»	—	2,64	2,14	5,13	11,3	18,9	0,24	»	Spuren von Ablösungen	277,0	216,0	1,3

Spec. Gewicht γ	Volumen-gewicht δ	Wasser-aufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Wasser-Durchlässigkeit Zeit des Aufsaugens v. 10 cm³ Wasser Std. Min.	Wasser-Durchlässigkeit Zeit b. zum Eintritt thauartig. Netzung d. unt. Fläch. Std. Min.	Wasser-Durchlässigkeit Zeit b. zum Eintritt d. Tropfenbildung Std. Min.	Gehalt an löslichen Salzen %	Gehalt an löschfähigen Stoffen	Frostproben	Bruchfestigkeit, kg trocken β_t	Bruchfestigkeit, kg wassersatt β_n	Erweich.-Koeff. $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
B. Dachziegel.													
a) Pressfalz-Ziegel.													
2,60	—	8,92	—	23,7	—*)	—*)	—*)	0,09	keine	—	228,0	247,0	0,9
b) Hohlstrangfalz-Ziegel.													
2,70		17,2	—	37,6	—*)	—*)	—*)	0,15	keine	—	177,0	158,0	1,1

*) [illegible]ropfenbildung nicht eingetreten ist.

4. Resultate der Untersuchung der Produkte der Cementwaren-Industrie

aus den Jahren 1883 bis einschliesslich 1898.

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Gattung	Format in cm
308	1883	Bausteinfabrik Solothurn	Cementsteine	24 : 12 : 6,0
309	1883	Cementsteinfabrik Käpfnach	»	25 : 12 : 6,5
310	1883	» »	»	25 : 12 : 6,5
311	1883	Cementsteinfabr. Ruge & Co., Altstetten	»	25 : 12 : 6,0
312	1883	» » »	»	25 : 12 : 6,0
313	1883	L. v. Roll'sche Eisenwerke, Gerlafingen	Hochofen-Schlackensteine	24 : 11,5 : 5,5
314	1889	Cementfabrik Neunkirchen	»	25 : 12 : 6,5
315	1889	» »	»	25 : 12 : 6,5
316	1889	Zwicky-Guggenbühl & Co., Wallisellen (Fabrikant unbekannt)	Cementsteine	25 : 12 : 6,0
317	1890	Richner & Rothpletz, Aarau	»	25 : 12 : 6,5
318	1892	Bergwerkverwaltung Käpfnach	»	25 : 12 : 6 auf 1 Basisfläche Vertiefngn. v. 16,5 : 5,0 : 0,5
319	1892	Bausteinfabrik Kaiseraugst, Baselaugst	»	30 : 14,5 : 6 auf 1 Basisfl. Vertiefngn. v. 20 : 7,0 : 0,7
320	1892	» » »	»	24 : 11,5 : 6 auf 1 Basisfl. Vertiefngn. v. 16,5 : 5,5 : 0,75
321	1892	A. Rychner, Entrepreneur, Neuchâtel	»	22 : 11 : 5,5
322	1892	» » »	»	22 : 11 : 5,5
323	1892	» » »	»	29 : 14 : 9,0
324	1893	Bazzi, Bausteinfabrik, Zürich	»	25 : 12 : 6,0
325	1893	» » »	»	25 : 12 : 6,0
326	1894	Bergwerkverwaltung Käpfnach	»	25 : 12 : 6 1 Vertiefg. 17 : 8,5 : 0,8
327	1894	Fischer & Schmutziger, Zürich	»	25 : 20 : 9,0
328	1894	N. Mühlethaler, Alchenflüh	»	25 : 12 : 6,0
329	1894	Société anonyme d. ciments Laitier de Donjeux	»	22 : 10,5 : 5,5
330	1894	Elektrizitätswerk a./Sihl, Wädensweil	»	25 : 20 : 9,3
331	1894	» » »	»	25 : 20 : 8,5
332	1894	» » »	»	25 : 20 : 10
333	1894	» » »	»	25 : 20 : 9,0
334	1894	» » »	»	25 : 20 : 9,0
335	1895	L. v. Roll'sche Eisenwerke, Rondez	Hochofen-Schlackensteine	30 : 14,5 : 7,5

4. Resultate der Untersuchung der Produkte der Cementwaren-Industrie

aus den Jahren 1883 bis einschliesslich 1898.

Farbe	Steingewicht kg	Volumengewicht δ	Wasseraufnahme %	Verhalten in der Frostprobe	Alter des Steines zur Zeit der Probe	Druckfestigkt., kg/cm² trocken β_t	wassersatt β_n	Erweich.-Koeff. $\varkappa = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
grau	3,33	—	—	—	—	70,0	—	—
gelblichgrau	4,20	—	1,90	—	—	209,0	—	—
dunkelgrau	4,15	—	2,30	—	—	142,0		—
grau	4,27	—	3,10	—	—	308,5	—	—
»	4,27	—	2,90	—	—	291,4	—	—
»	3,55	—	2,10	—	—	290,0	—	—
—	3,60	—	—	—	—	87,0	—	—
—	4,00	—	—	—	—	166,0	—	—
hellgrau	3,50	—	11,10	—	—	46,3	38,1	1,2
hellgelblichgrau	—	1,93	10,90	—	—	28,9	23,6	1,2
weisslichgrau	—	2,26	—	—	—	170,0	—	—
grau	—	2,15	9,04	—	—	153,0	100,5	1,5
weisslichgrau	—	1,98	9,99	—	—	94,0	78,0	1,2
hellgrau	2,86	2,06	—	—	—	182,0	—	—
»	2,57	1,85	—	—	—	103,0	91,0	1,1
grau	—	2,09	—	—	—	105,0	80,0	1,3
weisslichgrau	—	2,04	—	—	—	37.5	—	
»	—	2,04	—	—	—	39,0	—	—
—	—	2,24	7,8	—	—	241,0	245,0	1,0
grau	—	1,96	—	—	—	57,0	—	—
»	—	—	—	—	—	54,0	—	—
hellgrau	—	2,05	14,1	—	—	179,0	166,0	1,1
grau	—	1,95	—	—	—	43,7	—	—
»	—	1,97	—	—	—	62,0		—
—	—	—	—	—	76 Tage	49,0	—	—
—	—	—	—	—	37 „	39,0	—	—
grau	—	2,07	—	—	85 „	92,0	—	—
hellgrau	—	2,29	—	—	—	248,5	208,0	1,2

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Gattung	Format in cm
336	1895	L. v. Roll'sche Eisenwerke, Rondez	Hochofen-Schlackensteine	24 : 11,5 : 6,2
337	1895	S. de Mollins, Ing., Lausanne	Cementsteine	28 : 14 : 14 Prismen
338	1895	» » »	»	28 : 14 : 14 Prismen
339	1895	Wasserversorgung Zürich	»	25 : 12 : 6,0
340	1896	G. & A. Bangerter, Lyss	»	30 : 15 : 6,0 1 Vertfg. 21,6 : 6,8 : 0,7
341	1896	» » »	»	30 : 15 : 6,0 1 Vertfg. 21,2 : 7,95 : 0,7
342	1896	Brunschwyler & Herzog, Bern	»	30 : 14,5 : 6,0 1 Vertfg. 21,2 : 6,5 : 1,1
343	1896	» » »	»	25 : 12 : 6,0 1 Vertfg. 17,3 : 4,1 : 0,9
344	1896	» » »	»	30 : 14,5 : 6,0 1 Vertfg. 22,0 : 6,5 : 1,1
345	1896	» » »	»	30 : 14,5 : 6,5 1 Vertfg. 19,2 : 6,8 : 1,0
346	1896	» » »	»	30 : 14,5 : 6,5 1 Vertfg. 19,2 : 8,8 : 1,0
347	1896	Rohr & Härdi, Cementwarenfabr., Suhr	»	25 : 12 : 6,0
348	1897	Walliser Industrie-Gesellsch., Vernayaz	»	25 : 12 : 6,0 1 Vertfg. 21 : 7,0 : 0,5
349	1897	M. Weilenmann, Cementier, Henggart	»	25 : 12 : 6,5 2 Vertfg. 18,5 : 5,5 : 0,5
350	1897	» » »	»	25 : 12 : 6,0 2 Vertfg. 18,5 : 5,5 : 0,5
351	1897	» » »	»	25 : 12 : 6,0 1 Vertfg. 18,5 : 5,0 : 1,0
352	1898	W. Buchser, Bauuntern., Küssnacht a. Rigi	»	25,2 : 12,1 : 6,35
353	1898	Büzberger & Burkhardt, Örlikon	»	25 : 12 : 12
354	1898	» » »	»	25 : 12 : 12
355	1898	» » »	»	25 : 12 : 12
356	1898	» » »	»	55 : 12 : 12
357	1898	Cementsteinfabrik, A.-G., Dietikon	»	25 : 12 : 6,5 1 Vertfg. 19,0 : 6,5 : 0,5
358	1898	» » »	»	25 : 12 : 6,5 1 Vertfg. 19,2 : 6,5 : 0,5
359	1898	Alfred Deschwanden, Stans	»	25 : 12 : 6,0
360	1898	» » »	»	29 : 9 : 6,0
361	1898	Gaswerke der Stadt Zürich	»	25 : 12 : 6,5 1 Vertfg. 19,3 : 6,3 : 0,6
362	1898	Gribi, Baumeister, Burgdorf	»	25 : 12 : 6,0 1 Vertfg. 16,5 : 5,2 : 0,8
363	1898	» » »	»	24,1 : 11,5 : 6,1 1 Vertfg. 17,0 : 5,5 : 0,5
364	1898	Leuzinger-Böhny, Baumeister, Glarus	»	25 : 12 : 6,5 1 Vertfg. 16,8 : 4,2 : 0,7
365	1898	Arnold Oetiker, Maurermstr., Bubikon	»	10,4 : 91—96 : 8,6 keilförmig
366	1898	Senn, Fr., Baumeister, Thun	»	25 : 12 : 6,5 1 Vertfg. 18,3 : 5,3 : 0,9
367	1898	» » »	»	25 : 12 : 6,5 1 Vertfg. 18,3 : 5,3 : 0,9
368	1898	Spahr & Aebi, Wichtrach	»	25 : 12 : 6,0 1 Vertfg. 18,5 : 5,5 : 0,5
369	1898	Ed. Wüthrich & Co., Herzogenbuchsee	»	30 : 14,5 : 6,0 1 Vertfg. 20,2 : 5,4 : 1,1

Farbe	Steingewicht kg	Volumengewicht δ	Wasseraufnahme %	Verhalten in der Frostprobe	Alter des Steines zur Zeit der Probe	Druckfestigkt., kg/cm² trocken β_t	wassersatt β_n	Erweich.-Koeff. $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
hellgrau	—	2,50	—	—	—	231,0	219,0	1,1
—	—	—	—	—	10 Monate	220,0	—	—
—	—	—	—	—	10 „	262,0	—	—
—	—	2,41	—	—	—	55,0	—	—
grau	5,49	2,11	—	—	6 Monate	148,0	—	—
»	5,29	2,12	—	—	6 „	166,0	—	—
»	4,94	1,87	—	—	—	79,0	—	—
»	3,56	1,90	—	—	—	76,0	—	—
hellgrau	4,96	1,87	—	—	—	62,0	—	—
grau	5,41	1,99	—	—	—	88,5	—	—
»	5,55	2,08	—	—	—	139,0	—	—
»	—	2,05	—	—	—	66,0	—	—
»	3,28	1,90	—	—	—	57,5	—	—
»	3,81	2,01	—	—	—	157,0	—	—
»	3,83	2,01	—	—	—	181,0	—	—
»	3,56	1,93	—	—	—	50,0	—	—
»	3,79	2,06	—	—	—	64,0	62,0	1,0
»	8,38	2,24	—	—	2 Monate	61,0	—	—
»	7,90	2,14	—	—	2 „	49,0	—	—
»	7,76	2,19	—	—	2 „	51,0	—	—
»	7,85	2,18	—	—	2 „	39,0	—	—
»	4,00	2,11	—	—	1 Jahr	99,0	—	—
»	3,79	1,90	—	—	1 „	72,0	—	—
»	3,75	2,10	—	—	—	83,0	—	—
»	3,15	2,03	—	—	—	71,0	—	—
»	3,53	1,81	—	—	—	47,0	—	—
hellgrau	3,72	2,15	—	—	—	228,0	—	—
dunkelgrau	3,23	1,96	—	—	—	60,0	—	—
grau	3,96	2,12	—	erhebl. Ablösng.	—	128,0	—	—
»	—	—	7,0	—	—	110,9	82,7	1,3
hellgrau	3,55	1,91	—	—	44 Tage	37,0	—	—
»	3,54	1,90	—	—	104 „	33,0	—	—
grau	3,60	2,06	—	—	—	107,0	—	—
»	3,75	2,39	—	—	100 Tage	232,0	—	—

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Gattung	Format in cm	Farbe
370	1890	Oberst F. Locher, Baumstr., Zürich	Cementstein-masse	Würfel v. 10,5 cm Kantenlänge	hellgelbl.-grau
371	1890	H. Ernst, Architekt, Zürich	»	Würfel v. 8 cm	»
372	1890	» » »	»	» 8 »	»
373	1891	» » »	»	Façonstein	gelblich-grau
374	1891	Oberst F. Locher, Baumstr., Zürich	»	Würfel v. 10 cm	hellgelbl.
375	1891	» » » »	»	» 10 »	»
376	1891	» » » »	»	» 10 »	»
377	1891	» » » »	»	» 10 »	hellgelbl.-grau
378	1891	» » » »	»	Façonstein	—
379	1892	Steinfabrik Zürich	»	Würfel v. 10 cm	hellgrau
380	1892	» »	»	» 10 »	grau
381	1893	» »	»	» 6 »	—
382	1894	» »	»	Handstücke	—
383	1895	» »	»	Würfel und Zugkörper	—
384	1895	» »	»	—	—
385	1895	» »	»	—	—
386	1895	» »	»	Würfel v. 10 cm	—
387	1895	Basler Sandsteinfabrik Pratteln	»	» 10 »	—
388	1895	E. Braselmann, Kunststeinfabr., Zürich	»	» 8 »	—
389	1895	» » »	»	» 8 »	—
390	1895	» » »	»	» 8 »	—
391	1895	» » »	»	» 8 »	—
392	1896	» » »	»	» 8 »	rot
393	1896	» » »	»	» 8 »	weissgrau
394	1896	» » »	»	» 8 »	rot
395	1896	» » »	»	» 8 »	weissgrau
396	1897	F. Silbereisen, Kunststnfbr., Strassburg	»	» 7 »	—
397	1897	Basler Sandsteinfabrik Pratteln	»	» 10 »	—
398	1898	Kunst- und Bausteinfabrik Mett	»	» 7 »	gelblich-grau
399	1898	Pietro Locatelli, Kunststeinfabr., Zürich	»	» 10 »	rötlichgelb
400	1898	» » » »	»	» 10 »	hellweiss-grau
401	1889	Steinschlagfabrik Basel	Steinkohlen-Schlackenstne.	30 : 15 : 6,5	grau
402	1889	» »	»	25 : 12 : 7,0	dunkel-grau
403	1891	Gresly-Oberlin, Liesberg	Hohle Steink.-Schlackenstne.	24 : 11 : 6,5 mit 2 pyram. Kammern von 7 : 6,5 : 6 cm	schwärzl.-grau

Spez. Gewicht γ	Volumen-Gewicht δ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Verhalten in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ z. Sch.*)	trocken II z. Sch.	nass ⊥ z. Sch.	nass II z. Sch.	nach 25mal. Frosteinwirk.	Zugfestigkeit, kg/cm² trocken	nass	nach 25mal. Frosteinwirk.	Erweich.-Koeff. $\varkappa = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
2,56	2,06	9,70	20,0	24,3	erhebl. Ablösng.	315,0	296,0	—	—	—	—	—	—	—
2,57	2,01	3,18	—	21,8	» »	266,0	283,0	244,0	215	—	—	—	—	⊥ = 1,1 II = 1,3
2,55	1,99	3,95	—	22,0	» »	294,0	305,0	241,0	220	—	—	—	—	⊥ = 1,2 II = 1,4
—	—	—	—	—	» »	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	2,12	—	—	—	Spuren von Ablösungen	335,0	—	—	—	420,0	—	—	—	—
—	2,12	—	—	—	—	281,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	2,12	—	—	—	Spuren von Ablösungen	449,0	—	—	—	464,0	—	—	—	—
—	1,96	—	—	—	Spuren von Ablösungen	383,0	—	—	—	425,0	—	—	—	—
—	—	—	—	—	Spuren von Ablösungen	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,61	2,13	12,00	25,6	18,2	—	280,0	—	—	—	—	—	—	—	—
2,55	1,78	13,50	24,0	30,2	—	148,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	Spuren von Ablösungen	—	—	—	—	162,0	—	—	—	—
—	—	—	—	—	» »	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	unverändert	461,0	—	—	—	—	—	40,0	36,0	—
—	—	—	—	—	1 Körper zeigt Spur von Rissen, sonst unverändert	—	—	—	—	—	—	30,9	27,7	—
—	—	—	—	—	unverändert	—	—	—	—	—	—	25,9	22,2	—
—	—	—	—	—	—	252,0	—	—	—	—	—	—	—	—
2,43	2,00	12,2	24,4	17,69	unverändert	718,0	—	285,7	—	369,6	—	—	—	2,5
—	—	—	—	—	—	175,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	245,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	357,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	218,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	geringe Ablösng.	319,0	—	185,0	—	267,0	—	—	—	1,7
—	—	—	—	—	Spuren von Ablösungen	224,0	—	170,0	—	200,0	—	—	—	1,3
—	—	—	—	—	erhebl. Ablösng.	281,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	teils geringe, teils erhebl. Ablösungen	345,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	375,0	—	—	—	—	—	—	—	—
2,53	2,05	14,1	—	18,9	—	112,0	—	—	—	—	—	—	—	—
—	1,75	19,4	—	—	geborsten	99,0	—	—	—	—	—	—	—	—
2,64	2,32	2,6	6,0	12,0	Spuren von Ablösungen	565,0	571,0	449,0	506	540,0	—	—	—	⊥ = 1,3 II = 1,1
2,71	2,38	2,6	6,2	12,0	Spuren von Ablösungen	763,0	787,0	658,0	717	652,0	—	—	—	⊥ = 1,2 II = 1,1
4,08	—	18,60	—	—	—	38,2	—	37,0	—	—	—	—	—	1,0
3,07	—	—	—	—	—	49,6	—	—	—	—	—	—	—	—
—	1,31	—	—	—	—	69,0	—	—	—	—	—	—	—	—

*) z. Sch. = zur Schichtung.

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Gattung	Format in cm	Farbe
404	1891	Emil Sevestre, Zürich III	Steinkohlen-Schlackenstne.	25 : 12 : 8,5	bläulich-grau
405	1892	Kalk- & Cementfabriken, Beckenried	»	25 : 12 : 9,0	dunkel-grau
406	1892	» » » »	»	25 : 12 : 9,0	hellgrau
407	1894	Gotthardbahn, Luzern (Fabrikant unbekannt)	»	30 : 15 : 8,6 1 Vertfg 22 : 8,5 : 0,7	dunkel-grau
408	1894	» » » »	»	25 : 12 : 8,6 1 Vertfg. 8,4 : 5,5 : 0,5	»
409	1896	Kalk- & Cementfabriken, Beckenried	»	25 : 12 : 9,0	grau
410	1896	Franz Schmal, Radolfszell (Auftraggeber: Arch. Wirth, Zürich IV).	»	25 : 12 : 12	dunkel-grau
411	1897	L. v. Roll'sche Eisenwerke, Gerlafingen	»	24 : 12 : 7,0	schwärzl.-grau
412	1898	Benziger & Co., A.-G., Einsiedeln	Hohle Steink.. Schlackenstne.	25,5 : 12,5 : 12,5 auf 1 Fläche 2 cm. 6,5 weite u. 9 cm tiefe Löcher	grau
413	1898	» » »	Steinkohlen-Schlackenstne.	25 : 12 : 12	»
414	1891	Joh. Nägeli, Rickenbach	Gypssteine	30 : 15 : 9,0	hellweissl. grau
415	1897	Ehrsam-Peter, Schlieren	»	30 : 15 : 9,0	weisslich-grau
416	1898	Ed. Levi, Gussbausteinfabrik, Zürich	Gyps-Falzsteine	34 : 20,3 : 10,2	»
417	1898	» » »	»	Würfel von 16 cm Kantenlänge	»
418	1895	Gygax & Meyer, Bern	Magnesia-steine	25 : 12 : 6,0 1 Vertfg. 20,6 : 7,3 : 0,25	—
419	1895	Rychner & Rothpletz, Aarau	Schwemm-steine	15 : 12 : 10	—
420	1893	C. v. Muralt, Architekt, Zürich	Kalksandstein-masse	Würfel v. 10 cm	weisslich-grau
421	1894	» » »	»	„ 7 „	—
422	1894	» » »	»	„ 7 „	—
423	1894	» » »	»	„ 10 „	—
424	1894	» » »	»	„ 8 „	—
425	1894	» » »	»	„ 10 „	—
426	1894	» » »	»	„ 8 „	—
427	1894	» » »	»	„ 8 „	—
428	1894	» » »	»	„ 10 „	—
429	1894	» » »	»	Handstücke	—
430	1894	» » »	»	»	—
431	1894	A. v. Wuille, Schloss Rickelshausen	»	Würfel v. 7 cm	rot
432	1894	» » »	»	„ 7 „	weisslich-grau
433	1894	» » »	»	Handstücke	—
434	1894	» » »	fluatiert	»	—
435	1894	» » »	»	»	—
436	1894	» » »	nicht fluatiert	»	—
437	1895	» » »	Kalksandstein-masse	Würfel v. 5 cm	grau

Spec. Gewicht γ	Volumengewicht δ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Verhalten in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ z. Sch.	trocken ∥ z. Sch.	nass ⊥ z. Sch.	nass ∥ z. Sch.	nach 25 mal. Frosteinwirkg.	Erweich.-Koeff. $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
	1,79	15,00	--	--	—	59,0	—	51,0	—		1,2
--	1,51	23,00	—	—	-	43,0	-	68,0	—	—	0,6
-	1,51	13,00	—	—	--	17,0	--	17,0	—	—	1,0
--	1,18	—	—	--	—	13,7	—	—	--	--	—
--	1,32	—	—	—	—	21.4	—	—		—	—
3,50	1,22	23,5	—		erhebl. Ablösng.	58,5	—	44,9	—	—	1,3
3,76	1,08	—	—	—	—	18,0	-	—	--	--	—
2,24	1,16	25,0	—	—	erhebl. Ablösng. 2 Körp. geborst.	55,0	--	—	—	—	—
4,16	—	—	—	—	erhebl. Ablösng.	46,0	--	—	—	—	—
4,59	—	—	-	—	—	62,0	—	—	--	—	—
--	0,60	—	--	—	—	54,0	-	—	—	-	—
—	—	--	—	-	—	7,1	—	—	-	—	—
4,63	—	--		—	--	5,0	-	—	—	—	—
4,63	—	—	—			6,0		—	—	—	—
—	2,03	—	—	—	—	189,0	--	—	—	—	—
—	—	—	-	—	--	18,0	—	—	—	—	--
2,57	1,65	24,30	40,1	35,8	unverändert	196,0	—	173,0	—	150,0	1,1
—	—	—	—	--	—	218,0	—	—	—	—	--
—	—	--	--	—	—	212,0	—	—	—	—	—
—	--	--	—	—	--	302,0	—	—	--	—	—
—	--	--	—	—	—	290,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	--	--	286,0	--	—	—	—	—
—	--	—	--	—	--	172,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	205,0	—	—	—	-	--
—	—	—	—	—	—	161,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	erhebl. Ablösng.	—	--	—	—	—	—
—	—	--	—	—	» »	--	—	--	—	—	—
2,27	1,61	25,50	41,1	29,1	» »	85,0	---	50,0	—	—	1,6
2,28	1,60	24,60	39,4	29,8	» »	201,0	—	118,0	—	—	1,7
-	—	—	—	—	» »	--	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
--	—	--	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
—	—	—	--	—	» »	—	—	--	—	—	—
—	—	—	—	—	erhebl. Ablösng.	—	—	—	—	—	—

Lauf. No.	Datum des Eingangs	Herkunft des Materials	Gattung	Format	Farbe
438	1895	A. v. Wuille, Schloss Rickelshausen	Kalksandstein masse	„ 5 „	rotbraun
439	1895	» » »	»	„ 5 „	grau
440	1895	» » »	»	„ 5 „	»
441	1895	» » »	»	„ 5 „	»
442	1895	» » »	»	„ 5 u. 7 „	grau
443	1895	» » »	»	„ 5 u. 7 „	rot
444	1895	C. v. Muralt, Architekt, Zürich	»	„ –	—
445	1895	» » »	»	„ –	—
446	1895	» » »	»	„ 6 „	—
447	1895	» » »	»	„ 6 „	—
448	1896	Maschinenbau-Gesellschaft Basel	»	„ 10 „	—
449	1896	» » »	»	„ 10 „	—

Spec. Gewicht γ	Volumengewicht δ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Verhalten in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ z. Sch.	trocken ∥ z. Sch.	nass ⊥ z. Sch.	nass ∥ z. Sch.	nach 25 mal. Frosteinwirkg.	Erweich.-Koeff. $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
—	—	—	—	—	geringe Ablösng.	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	erhebl. Ablösng.	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	248,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	269,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	erhebl. Ablösng.	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	110,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	erhebl. Ablösng.	379,0	—	227,0	—	—	1,7
—	—	—	—	—	erhebl. Ablösng.	219,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	unverändert	290,0	—	—	—	327,0	—

Xylolith (Steinholz).

Das sog. *Xylolith* (Steinholz), vergl. Seite 13 des vorliegenden Heftes, ist ein gewässertes Pressprodukt, gewonnen aus einem Gemenge von Sägespähnen und Sorel-Cement (Magnesiumoxychlorid-Hydrat). Zur Untersuchung auf dessen physikalische Eigenschaften wurde dasselbe in die schweiz. Materialprüfungs-Anstalt eingereicht im Falle

No. 1: durch Herrn *H. Schmidlin,* Betriebsdirektor der schweiz. Seethalbahn, in Hochdorf; 1892. Herkunft des Materials: deutsche Xylolithfabrik von Otto Senning & Co., Potschappel bei Dresden;

No. 2: durch Herren *Rilliet & Karrer,* schweiz. Xylolithfabrik, Wildegg bei Aarau; 1895. Herkunft des Materials: eigene Fabrikation.

No. 3: durch Herren *Otto Senning & Co.,* deutsche Xylolithfabrik, Potschappel; 1896. Herkunft des Materials: eigene Fabrikation.

No. 4: durch Herren *Rilliet & Karrer,* schweiz. Xylolithfabrik, Wildegg bei Aarau; 1896. Herkunft des Materials: eigene Fabrikation.

An Versuchsmaterial wurde eingeliefert im Falle:

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	
an Würfeln mit 8 cm Kantenlänge . . . . :	14,	20,	20,	20	Stück.
„ achterförmigen Zerreissproben mit ca. 5 cm^2 Bruchquerschnitt . . . . . :	14,	20,	20,	20	„
„ Platten von ca. 30 cm Länge, 12 cm Breite, 3 cm Dicke . . . . . :	7,	10,	10,	10	„

Resultate der Untersuchungen.

Sämtliche Probekörper waren ebenflächig und scharfkantig gearbeitet. Ihre Farbe wechselte mit dem Farbtone des zugesetzten Farbkörpers. Das Versuchsmaterial war vorwiegend hellgelblich, schwach glänzend. Je zwei gegenüberliegende Flächen zeigten ziemlich feinkörniges Mosaik der Xylolith-Komponenten; die übrigen Flächen der Versuchskörper besassen ein ausgesprochen geschichtetes Gefüge. Frische Anbruchflächen zeigten besagte Schichtung in erhöhtem Masse; sie erschienen zackig, schiefrig, faserig.

Gewichtsverhältnisse.

Es wiegt 1 dm^3 im Falle	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	
im Anlieferungszustande . . . . . :	1,56,	1,32,	1,61,	1,56	kg.
in getrocknetem Zustande . . . . . :	1,44,	1,21,	1,36,	1,37	„
„ „ „ bestimmt nach der Paraffinmethode . . . . . :	—	1,20,	1,44,	—	„

Wassersaugvermögen und scheinbare Porosität.

Im Falle	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
betrug die Wasseraufnahme in Gewichtsprozenten . . . . . :	8,3	28,0	15,7	14,0
die scheinbare Porosität in Raumprozenten:	12,9	34,0	23,0	22,0

Härteverhältnisse.

Das Xylolith ist schneid-, säg- und drehbar. Frisch behobelte oder befraiste Flächen zeigen ziemlich kompaktes, dichtes Gefüge und den charakteristischen Speckglanz.

Verhalten im Feuer.

Xylolith verascht im Feuer ohne Flammentfaltung; selbst bei relativ hoher Temperatur (vor dem Gebläse) glimmt und verascht dasselbe allmälig unter Zurücklassung eines oberflächlich weisslichgrauen im Kerne dunkelgefärbten Rückstandes. Die Asche enthält neben den bekannten Bestandteilen der Holzasche, viel Magnesia und geringe Mengen Chlor.

Festigkeitsverhältnisse.

Im Falle	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	
Zugfestigkeit.					
im Anlieferungszustande, ∥ zur Faser:	119,0,	44,0,	90,0,	141,0	kg/cm².
in wassersattem Zustande, » :	59,0,	22,0,	32,0,	61,0	»
nach 25-maliger Frostwirkung, ∥ zur Faser, wassersatt . . . . . :	68,5,	12,0,	23,0,	48,0	»
Druckfestigkeit.					
im Anlieferungszustande, ⊥ zur Faser:	554,0,	367,0,	557,0,	748,0	»
∥ » :	358,0,	—	—	—	»
in wassersattem Zustande, ⊥ zur Faser:	332,0,	216,0,	247,0,	508,0	»
∥ » :	147,0,	—	—	—	»
nach 25-maliger Frostwirkung, ⊥ zur Faser, wassersatt . . . . . :	344,0,	188,0,	279,0,	384,0	»
nach 25-maliger Frostwirkung, ∥ zur Faser, wassersatt . . . . . :	179,0,	—	—	—	»
Biegungsfestigkeit.					
im Anlieferungszustande, ⊥ zur Faser:	250,0,	86,0,	199,0,	251,0	»

IV. Der Kalk in den Thonwaren.

Entsprechend dem Vorkommen des *Kalkes* im Ziegelthone, erscheint derselbe auch in den Produkten der Thonwaren-Industrie bald in Form isolierter Einsprenglinge, bald in feinster, das Material gleichmässig durchsetzender Verteilung. In erst genannter Modifikation hat der Kalk weder auf die Brandfarbe noch auf die Schmelztemperatur des Thones Einfluss. In Berührung mit Wasser löscht sich das Ätzkalkkorn zu Kalkhydrat und erzeugt mehr oder weniger oberflächliche, oft tiefgreifende Ablösungen, Abschieferungen oder ruft ein Bersten des Fabrikats hervor, sofern die Kalkeinsprenglinge in grösseren Mengen vorliegen oder an und für sich von erheblicher Grösse sind. Bei feiner Verteilung und hinreichend scharfem Brand, ändert der Kalk die rotbrennende Wirkung des Eisens im Thone; kalkschüssige Thone brennen blassrosa, gelblich-weisslich oft mit ausgesprochenem Stich ins Grüne. Je höher die Temperatur, desto missfarbiger der Stein; desto grösser seine Tendenz im Feuer zu erweichen. Die Kanten zu scharf gebrannter Steine sind krumm, die Flächen windschief, das Material zeigt wechselnden Grad von Sinterung. Bei hinreichend feiner Korngrösse und inniger Berührung wirkt der Kalk auf den Quarzsand des Thones, möglicher Weise auch auf Silikate, die als Trümmer des Muttergesteins die Thonsubstanz verunreinigen, aufschliessend, wobei nicht ausgeschlossen ist, dass Verbindungen, ähnlich den gebrannten Mergeln, mit der Eigenschaft entstehen, in Berührung mit Wasser hydraulisch zu erhärten. Thatsache ist, dass während kalkarme oder kalkfreie Ziegelthone mild, d. h. unter der Sintergrenze gebrannt, unter Wasser an Kohäsion mitunter erheblich verlieren, ja mit der Zeit gänzlich zerfallen können, schon bei relativ schwach gebrannten kalkhaltigen Ziegeln eine Steigerung der Festigkeit beobachtet werden kann, sobald dieselben unter Wasser gesetzt werden.

Dass kalkarme, oder kalkfreie Thone vor eintretender Sinterung gebrannt, gemahlen in Berührung mit Kalkwasser oder Kalkbrei dem Kalke hydraulische Eigenschaften erteilen

können, ist bekannt. Hierauf basiert die Anwendung gemahlener Ziegelscherben als hydraulische Zuschläge. In Ägypten, wo namentlich zwischen Cairo und Heluan, vortreffliche Luftkalke aus den Miocän-Kalksteinen und Kieselkalken gewonnen werden, wird noch gegenwärtig dem Kalkbrei Ziegelmehl oder ein aus Nilschlamm gewonnener Zuschlag, »*Hombra*« genannt, zugesetzt, um den Mörtel hydraulisch zu machen. »*Hombra*« ist gebrannter, feinkörnig zerkleinerter Nilschlamm. Nilschlamm wird in Kugel- oder Steinform geschlagen, an der Sonne getrocknet, hierauf bei mässiger Rotgluth gebrannt. Das gebrannte Material wird von Hand zerstossen, wohl nur ausnahmsweise maschinell zerkleinert und als Zuschlag dem Kalk-Sand-Mörtel einverleibt. Diese Technik der Mörtelbereitung muss so alt als die altägyptische Kultur sein, denn im Mauerwerke der kleinen Gizeh-Pyramiden bei Cairo hat der Berichterstatter regelrechten »*Hombra*«-Mörtel angetroffen.

Die Nilschlamm-Zusammensetzung wechselt mit dem Fundorte und dem Alter der Ablagerung. Ein in der Nähe von Turrah am Nilufer genommenes Muster ergab folgende Zusammensetzung:

	lufttrockener Zustand:	*gebrannter* Zustand:
Kieselsäure . . . . SiO_2:	60,27 %	63,37 %
Thonerde . . . . . Al_2O_3:	15,02 »	15,78 »
Eisenoxyd . . . . . Fe_2O_3:	8,99 »	9,45 »
Kalk . . . . . CaO:	5,52 »	5,48 »
Magnesia . . . . . MgO:	2,47 »	2,60 »
Schwefelsäure . . . . SO_3:	0,45 »	Gyps 0,80 »
Kohlensäure . . . . CO_2:	1,14 »	— »
Wasser + Bitumen H_2O+Bit.:	3,75 »	— »
Alkalien als Differenz . . :	2,39 »	2,52 »
	100,00 %	100,00 %

Eine ähnliche Zusammensetzung besass das vom Berichterstatter mitgebrachte »*Hombra*«-Muster. Die Wirkung der Hombra auf den Kalk kennen zu lernen, liess derselbe das mitgebrachte Muster zunächst auf eine Feinheit mit Null Rückstand am 900-Sieb bringen; hierauf mit trocken gelöschtem Weisskalk von Dielsdorf in den Verhältnissen:

1 Vol.-T. Hombramehl auf 1 Vol.-T. Kalkhydrat,
$1^1/_2$ » » » 1 » »

mischen und die so gewonnenen Mischungen zu Normenmörteln im Sinne der schweiz. Vorschriften für die einheitliche Prüfung

hydraulischer Bindemittel verarbeiten. Folgende Zusammenstellung enthält die an diesen Mörteln bis jetzt erhobenen Festigkeitsverhältnisse:

	Lufterhärtung		*Wassererhärtung* nach 12-täg. Luftlagerung	
	Zug	*Druck*	*Zug*	*Druck*
Mischung I: 1,0 Vol.-T. Hombra + 1,0 Vol.-T. Kalkhydrat.				
1 : 3, in Gew.-T. mit schweiz. Normalsand.				
nach 7 Tagen	1,3 kg/cm²;	11,1 kg/cm².	— kg/cm²;	— kg/cm².
» 28 »	2,7 » ;	16,3 » .	2,5 » ;	14,5 » .
» 84 »	3,7 » ;	23,3 » .	5,7 » ;	31,6 »
1 : 3, in Gew.-T. mit züricher Bausand.				
nach 7 Tagen	1,2 kg/cm²;	12,4 kg/cm².	— kg/cm²;	— kg/cm².
» 28 »	4,5 » ;	23,9 » .	2,6 » ;	17,1 » .
» 84 »	4,9 » ;	28,1 » .	7,6 » ;	38,4 » .
Mischung II: 1,5 Vol.-T. Hombra + 1,0 Vol.-T. Kalkhydrat.				
1 : 3, in Gew.-T. mit schweiz. Normalsand.				
nach 7 Tagen	1,9 kg/cm²;	12,0 kg/cm².	— kg/cm²;	— kg/cm².
» 28 »	3,7 » ;	24,6 » .	2,7 » ;	15,6 » .
» 84 »	4,5 » ;	21,7 » .	8,0 » ;	36,4 » .
1 : 3, in Gew.-T. mit züricher Bausand.				
nach 7 Tagen	2,0 kg/cm²;	12,1 kg/cm².	— kg/cm²;	— kg/cm².
» 28 »	5,4 » ;	21,6 » .	2,7 » ;	15,8 » .
» 84 »	6,8 » ;	39,6 » .	6,9 » ;	38,6 » .

»Hombra« wird im Nildelta, namentlich in Cairo durch Zerkleinern von Ziegelscherben gewonnen, die den örtlich in kolossalen Massen aufgethürmten Schutthalden, entnommen werden. An Ort und Stelle eingezogenen Erkundigungen zufolge wird dem Hombra-Mörtel eine energische Hydraulicität nicht zugeschrieben. Auch soll derselbe erst nach Verfluss längerer Zeiträume eine nennenswerte Festigkeit erreichen. Der an der Luft versteinerte Hombra-Mörtel der Pyramiden zeigt recht ansehnliche Härte und Festigkeit. Das Verhalten des geglühten Nilschlamms zu Weisskalk scheint auch die Erscheinung zu erklären, die auch kalkarme, bei mässiger Rotglut erbrannte und zwischen Kalkmörtelbändern vermauerte Ziegelsteine nicht selten zeigen. Ziegelsteine dieser Art besitzen ausgesprochene Wassersaugkraft und zeigen nach längerer Wassereinwirkung in wassersattem Zustande durch-

schnittlich eine höhere Druckfestigkeit als die trocken zermalmten Steine gleicher Lieferung. Der geglühte Nilschlamm wird zum hydraulischen Zuschlag; derselbe erteilt dem im Wasser sonst löslichen Kalke hydraulische Eigenschaften. Der kalkarme, kieselreiche Thon eines wassersaugenden Ziegelsteines kann durch Aufnahme von kalkhaltigem Wasser eine cementierende Wirkung, ausgedrückt durch eine Steigerung der Kohäsionsverhältnisse im wassersattem Zustande erfahren. Bei kalkhaltigen Thonen scheint die Kieselsäure durch den Eigenkalk im Feuer aufgeschlossen zu werden; bei längere Zeit dauernder Wassereinwirkung ist die Bildung von Kalkhydrosilikaten denkbar, die die regelmässig auftretende Erscheinung der Festigkeitssteigerung des Steinmaterials in wassersattem Zustande erklärt.

Den zahlenmässigen Nachweis der cementierenden Wirkung des Kalkes im Ziegelthone haben wir zuerst im Jahre 1882/83 an Produkten der mech. Backsteinfabrik Zürich nachzuweisen Gelegenheit gehabt.

Die genannte Fabrik baut am Fusse des Ütliberges zwei Thonlager ab, deren Schichten scheinbar zusammenhängen, materiell dennoch verschiedenartig zusammengesetzt sind. Nachstehende Zusammenstellung giebt eine Übersicht des Chemismus dieser Thone, von welchen die No. 1—5 der Ziegelei im Binzhof, die No. 6—10 der nordwestlich von dieser gelegenen Ziegelei im Tiergarten angehören, vergl. die Tabellen auf Seite 150—151.

Die an den Produkten der mech. Backsteinfabrik Zürich gemachten Wahrnehmungen wurden an den Waren der mech. Ziegelei Albishof-Zürich vollinhaltlich bestätigt. Diese Ziegelfabrik baut Thone ab, deren Chemismus folgenden Zusammenstellungen zu entnehmen ist.

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	$CaSO_4$	$CaCO_3$	$MgCO_3$	CaO	MgO	H_2O+Bit.	Alkal. als Diff.
Durchschnittsmaterial der obern Fabrik.									
ungebrannt:									
35,68,	9,88,	1,72,	0,39,	37,13;	7,21,	—	3,90,	3,68,	0,41 %.
gebrannt:									
46,82,	12,98,	2,26,	0,51,	—	—	27,28	9,62,	—	0,53 %.
Durchschnittsmaterial der untern Fabrik.									
ungebrannt:									
36,44,	10,85,	1,50,	0,46,	36,54,	6,34,	—	4,48,	3,20,	0,19 %.
gebrannt:									
47,08,	14,02,	1,94,	0,59,	—	—	26,43	9,69,	—	0,24 %.

Thone der mechanischen Backsteinfabrik Zürich.

No. 1—5 = Thon von Binzhof, No. 6—10 = Thon vom Thiergarten.

Thonbestandteile	No. 1		No. 2		No. 3		No. 4	
	ungebrannt	gebrannt	ungebrannt	gebrannt	ungebrannt	gebrannt	ungebrannt	gebrannt
SiO_2	48,13	56,90	38,60	48,80	35,68	46,99	35,88	46,79
Al_2O_3	15,76	18,63	15,92	20,13	13,88	18,28	15,39	20,07
Fe_2O_3	4,60	5,44	3,83	4,84	3,70	4,87	3.36	4,38
$CaSO_4$	0,83	0,98	1,07	1,35	0,95	1,25	1,08	1,41
$CaCO_3$	16,79	--	29,16	—	34.53	—	32,53	—
$MgCO_3$	6,60	—	5,36	—	4,91	—	4,26	—
CaO	—	11,11	—	20,64	—	25,48	—	23,76
MgO	0,52	4,33	—	3,24	—	3,08	—	2,64
CO_2	—	—	1,36	--	3,04	—	2,66	—
H_2O+Bit.	4,57	—	3,90	—	3,27	—	4,11	—
Alkalien	2,20	2,61	0,79	1,00	0,04	0,05	0,73	0,95
	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Resultate der rationellen Analyse.

Quarz und Feldspath	25,12 %	16,83 %	20,66 %	19,54 %
$CaCO_3$	16,79 »	29,16 »	34,53 »	32,53 »
$MgCO_3$	6,60 »	5,36 »	4,91 »	4,26 »
Thonsubstanz	51,49 »	48,65 »	39,90 »	43,67 »
	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %

Resultate der Schlämm-Analyse.

Gehalt an Staubsand	8,54 %	2,98 %	7,44 %	9,79 %
» » Feinsand	1,45 »	0,55 »	1,17 »	2,45 »
» » Grobsand	0,09 »	0,02 »	0,00 »	0,03 »

Thone der mechanischen Backsteinfabrik Zürich.

No. 1–5 = Thon von Binzhof, No. 6—10 = Thon vom Thiergarten.

No. 5		No. 6		No. 7		No. 8		No. 9		No. 10	
ungebrannt	gebrannt	ungebrannt	gebrannt	ungebrannt	gebrannt	ungebrannt	gebrannt	ungebrannt	gebrannt	ungebrannt	gebrannt
37,63	49,03	43,90	53,48	40,99	50,73	37,38	48,20	40,73	51,14	39,93	49,70
14,39	18,75	17,44	21,25	16,23	20,09	16,18	20,86	15,51	19,48	15,41	19,18
2,97	3,87	4,58	5,58	3,66	4,53	3,41	4,40	3,84	4,82	4,23	5,26
0,37	0,48	1,41	1,72	1,15	1,42	0,93	1,20	0,86	1,08	0,83	1,03
33,70	—	22,48	—	24,85	—	29,96	—	28,20	—	25,85	—
4,41	—	4,18	—	8,34	—	4,03	—	4,41	—	6,75	—
—	24,59	—	15,34	—	17,23	—	21,64	—	19,83	—	18,02
—	2,73	—	2,42	—	4,91	—	2,48	—	2,64	1,01	5,26
3,06	—	1,47	—	0,70	—	4,26	—	1,68	—	—	—
3,05	—	4,37	—	3,20	—	2,90	—	3,96	—	4,75	—
0,42	0,55	0,17	0,21	0,88	1,09	0,95	1,22	0,81	1,01	1,24	1,55
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Resultate der rationellen Analyse.

23,84 %	20,64 %	18,23 %	19,04 %	16,30 %	14,52 %
33,70 »	22,48 »	24,85 »	29,96 »	28,20 »	25,85 »
4,41 »	4,18 »	8,34 »	4,03 »	4,41 »	6,75 »
38,05 »	52,70 »	48,58 »	46,97 »	51,09 »	52,88 »
100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %

Resultate der Schlämm-Analyse.

12,69 %	4,11 %	1,97 %	8,45 %	3,87 %	1,22 %
4,59 »	1,05 »	0,07 »	0,92 »	0,75 »	0,10 »
0,11 »	0,02 »	0,01 »	0,05 »	0,02 »	0,00 »

Resultate einiger Festigkeits-Versuche.

Herkunft des Materials	Steingattung	Farbe	Gefüge	Mittleres Steingewicht	Scheinbare Dichte	Wasseraufnahme in Gew. %	Druckfestigkeit trocken kg/cm²	Druckfestigkeit wassersatt kg/cm²
Mechanische Backsteinfabr. Zürich	Lochstein	hellgelb	homogen	2,34	2,63	26,1	304,5	374,0
			Kontrolle:	—	—	—	255,0	294,0
Mechanische Ziegelfabr. Albishof	Lochstein	weisslich-gelb	erdig-körnig	3,00	2,28	29,3	141,0	200,0
			Kontrolle:	—	—	—	239,0	266,0

Dass übrigens aus schwach gebrannten kalkarmen Thonen gewonnene Steine oft ähnliche Steigerungen der Festigkeitsverhältnisse aufweisen, lehrt folgende Zusammenstellung.

	Material der Société technique, Neuchâtel.		*Material* der mech. Ziegelfabrik, Albishof.
	ungebrannt	gebrannt	gebrannt
SiO_2 . . . . . :	64,96 %	70,98 %	67,04 %
Al_2O_3 . . . . . :	17,51 »	19,13 »	14,57 »
Fe_2O_3 . . . . . :	2,91 »	3,18 »	6,20 »
CaO . . . . . :	1,21 »	1,32 »	5,03 »
MgO . . . . . :	1,76 »	1,92 »	2,42 »
$CaSO_4$ . . . . . :	0,71 »	0,77 »	0,30 »
Glühverlust . . . :	8,47 »	—	0,66 »
Alkalien als Diff. :	2,47 »	2,70 »	3,78 »
	100,00 %	100,00 %	100,00 %

Die physikalischen Eigenschaften der aus vorstehend zusammengesetzten Thonen gewonnenen *Lochsteine* wurden festgestellt zu:

Farbe	rot	rot	lederfarbig
Struktur	homogen	homogen	homogen
Mittleres Steingewicht . .	2,00 kg	2,07 kg	2,69 kg
Wasseraufnahme	11,4 %	18,8 %	17,0 %
Druckfestigkeit, trocken .	243,5 kg/cm²	128,2 kg/cm²	346,0 kg/cm²
» wassersatt	318,0 »	177,0 »	473,0 »

V. Über das sog. „Salpetern" der Mauerziegel.

Eine vielfach beobachtete Erscheinung ist das sog. »*Salpetern*« frisch vermauerter Ziegelsteine. Bekanntlich treten in der ersten Trocknungsperiode des Ziegelmauerwerks an der, von der Luft umspülten Oberfläche der Steine weisse Beschläge auf, die das Bauhandwerk »*das Salpetern*« der Steine benannt hat. Dass diese Erscheinung mit dem Salpeter oder der, den Mauerfrass einleitenden Salpeterbildung nichts gemein hat, und lediglich im Ansetzen von Sulfaten besteht, die aus dem Steinmaterial selbst stammen oder aus dem Mörtel herrühren, in welchen die Steine gebettet wurden, ist längst bekannt. Zahlreiche Analysen der Anflüge an unverputztem Ziegelmauerwerke belehren darüber, dass es der Hauptsache nach die Sulfate des Kalkes, der Magnesia und Alkalien sind, die als lösliche Salze aus dem Innern der Steine an deren Oberfläche gelangen, oder aber, dass es der, eventuell mit Spuren von Kieselsäure, Thonerde, Magnesia und Kochsalz, verunreinigte Ätzkalkhydrat ist, welcher aus dem Mörtel stammt, durch die Wassersaugkraft in das Innere der Steine, von hier mit den löslichen Salzen des Steinmaterials an die luftumspülte Oberfläche der Steine gelangt. Die aus dem Steinmaterial selbst herrührenden, löslichen Salze reagieren *neutral,* d. h. sie ändern den Farbton des Lakmuspapiers nicht. Im Gegensatz hiezu stehen die aus dem Mörtel oder Kalkputz herrührenden Salze; sie sind *ätzender* Beschaffenheit und werden sich somit nicht allein durch ihre missfarbige Wirkung auf Verblendern, sondern auch im innern Ausbau, namentlich sowohl durch Änderung der Tapetenfarben als auch durch Erzeugung des Tapetenfrasses nachteilig bemerkbar machen.

Bei Fabrikation von *Verblendern* sucht der Ziegler die schädlichen löslichen Salze der Ziegelthone bezw. der daraus

erstellten Waren in eine unlösliche Modifikation dadurch überzuführen, dass er nach Anleitung von Prof. Dr. Seger seinem Thone *Witherit* d. i. kohlensaures Baryum in feinster Verteilung zusetzt. Der beim Brande der Thone entstehende Baryt bindet die Schwefelsäure der Sulfate, bildet also das im Wasser unlösliche *Baryumsulfat* und die Ware verliert die Tendenz zum Salpetern.

All' dies sind, wie vorstehend erwähnt, längst bekannte Dinge. Dessen ungeachtet kommen häufig die wunderlichsten Gesuche um Untersuchung von Erscheinungen, die sich als Folgewirkung der oft unbewussten künstlichen Förderung der Bedingungen der Entstehung der fraglichen Ausblühungen erklären. Ein solcher Fall sei Gegenstand der nachstehenden Erörterungen.

In einer Kantons-Hauptstadt unseres Landes waren wegen des *Auftretens von Beschlägen* auf rohem und verputztem Ziegelmauerwerke, sowie wegen des eingetretenen Tapetenfrasses in einer grösseren Vereinszwecken dienenden Neubaute Streitigkeiten ausgebrochen, die eine einlässliche Untersuchung der verwendeten Materialien in der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt nach sich zogen. Der Vorsitzende der Baukommission des streitigen Objektes sandte in die Materialprüfungs-Anstalt folgende Versuchsobjekte ein:

1. Zwei Stück Backsteine, unverputzt, einer Mauer des Vereinshauses entnommen;
2. » » » , der Fabrik entnommen;
3. Eine Schachtel Putz mit Tapetenresten, von einer Backsteinmauer abgelöst;
4. » » » , vom Bruchsteingemäuer abgelöst,
5. » » » , » » an einer zweiten Stelle entnommen;
6. » » » , einer mit hydraulischem Kalk geputzten Backsteinmauer entnommen;
7. » » » , einer Stotzwand entnommen;
8. » » » , einer Schilfrohrwand entnommen;
9. » » » , einer Schwemmsteinwand entnommen, und endlich
10. Eine Blechbüchse mit Mauerblüten.

Das Begleitschreiben des Auftraggebers fordert Auskunft über folgende Fragen:

I. Welche Substanzen enthalten die ad 1 angeführten Steine? Sind diese für Tapeten von schädlichen Einwirkungen? In was besteht die Ausschwitzung?

II. Enthalten auch die ad 2 angeführten Steine Tapeten zerstörende Substanzen und welche?

III. ad 3: Welches ist hier die zerstörende Wirkung? Rührt solche von den Steinen her oder sind andere Einflüsse (schlechter Kalk, verdorbener Gyps, Sand etc.) dazu gekommen?

IV. ad 4 u. 5: Sind die gleichen schädlichen Substanzen auch in den Enthebungen 4 u. 5 (Bruchsteinen) bemerkbar? oder in den ad 6, 7, 8 u. 9 bezeichneten?

Im Besondern sind zerstörende Substanzen auch beim hydraulischen Kalkverputz auf Backsteinen bemerkbar. (Auf der Mauerfläche ist bei diesem Verputze auf Backsteinen nichts bemerkbar).

V. ad 10: Kann verdorbene Luft, Feuchtigkeit auf Kalk- und Gypsverputz einen Einfluss ausüben, dass auch bei reinen Backsteinen solche Blüten entstehen könnten?

Die eingeleitete Untersuchung ergab folgende Resultate

Probe No. 1: Backsteine, unverputzt, einer Mauer des Vereinshauses entnommen.

Lösliche Salze: 0,69 %.

Lösung ***reagiert neutral*** und enthält: viel ***Kalk*** (CaO); wenig ***Thonerde*** (Al_2O_3); sehr wenig ***Magnesia*** (MgO); viel ***Natron*** (Na_2O); kein ***Kali*** (K_2O); kein ***Salpeter*** (KNO_3) und keine ***Kohlensäure*** (CO_2), dagegen reichlich ***Schwefelsäure*** (SO_3) und ***Chlor*** (Cl).

Probe No. 2: Backsteine der Fabrik entnommen.

Lösliche Salze: 0,22 %.

Lösung ***reagiert neutral*** und enthält: ***Kalk***; ***Magnesia*** in Spuren; geringe Mengen ***Alkalien***; keine ***Kohlen-*** und keine ***Salpetersäure***; relativ viel ***Schwefelsäure***; geringe Mengen ***Chlor***.

Stofflich sind die löslichen Salze der vermauerten und der Fabrik entnommenen Backsteine gleichartig; sie bestehen der Hauptsache nach aus Sulfaten des Kalkes, der Magnesia und der Alkalien; Salpeter kommt nicht vor; ebenso fehlen die Karbonate; dagegen enthalten die Steine geringe Mengen

Kochsalz. Bemerkenswert ist, dass der Gehalt an löslichen Salzen der *vermauerten Steine nahezu 3,2 mal so gross ist, als der unvermauerten, der Fabrik entnommenen Steine.*

Der Grösse nach bewegen sich die oben angeführten löslichen Salze innerhalb der normalen Verhältnisse, wie dies folgende Übersichtszusammenstellung der an den schweizerischen *Mauer- und Formsteinen,* sowie an den *Dachziegeln* erhobenen Werte der löslichen Salze zeigt. Bezüglich der Einzelpositionen sei auf Seite 105 u. f. dieses Heftes verwiesen.

Gegenstand	Anzahl der Einzelproben	Durchschnittlich %	Grösstwert %	Kleinstwert %
Mauer- und Formsteine.				
Handsteine	29	0,21	0,92	0,08
Maschinenvollsteine	21	0,22	0,46	0,07
Nachgepresste Vollsteine	2	0,16	0,18	0,14
Lochsteine	50	0,30	1,14	0,06
Hohlsteine	21	0,25	0,88	0,03
Dachziegel.				
Handstrich-Ziegel	13	0,23	0,61	0,10
Strang-Ziegel	30	0,25	1,64	0,07
Strangfalz-Ziegel	29	0,26	1,41	0,06
Pressfalz-Ziegel	11	0,26	0,55	0,08
Hohlstrangfalz-Ziegel	3	0,22	0,32	0,13

Aus vorstehenden Darlegungen geht hervor, dass ein Teil der auf den vermauerten Steinen beobachteten Beschlägen wahrscheinlich aus dem Mörtel herrührt. Dass nicht alle Steine der gleichen Mauer gleiche Ausblühungen zeigen, kann Folge verschiedenartiger Umstände sein; als solche wären anzuführen: Verschiedenheit der Wassersaugkraft der Steine; wechselnde Konsistenz des verwendeten Mörtels; überhaupt Verschiedenheit des Gehaltes der Steine und des Mörtels an löslichen Salzen Verschiedenheit der Trockenwirkung der Atmosphäre u. d. m.

Reines Wasser und wechselnde Belichtung erzeugen auf Tapeten Fleckenbildung, *Farbänderungen und Pilzansidlungen.*

Die aus den Steinen und dem Mörtel herrührenden Sulfate steigern diese Wirkungen; weil jedoch ihre Lösung neutral reagiert, kann auch die fragliche Steigerung der Wirkung gegenüber reinem Wasser so lange keine nennenswerte sein, als nicht die Tapetenfarben in Berührung mit den Sulfaten der löslichen Salze eine chemische Umgestaltung erleiden. Ob und in welchem Masse dies bei den verwendeten Tapeten der Fall gewesen, konnte nicht festgestellt werden.

Probe No. 3: Verputz mit Tapetenresten, von einer Backsteinmauer abgelöst.

Lösliche Salze: 1,58 %.

Lösung ***reagiert alkalisch*** und enthält vorwiegend ***Kalk;*** wenig ***Alkalien;*** keine ***Magnesia;*** ferner etwas ***Kohlensäure;*** reichlich ***Schwefelsäure;*** keine ***Salpetersäure;*** geringe Mengen ***Chlor.***

Vergleicht man vorstehenden Befund mit den unter No. 1 und 2 angeführten so ergiebt sich ohne weiteres, dass der grössere Teil der auf den weiss geputzten Wänden der streitigen Vereinsbaute angetroffenen Beschlägen (Mauerblüten) aus dem Verputze selbst herrührt.

Probe No. 4: Verputz vom Bruchsteingemäuer abgelöst.

Lösliche Salze: 1,24 %.

Lösung ***reagiert alkalisch;*** chemische Zusammensetzung der Lösung ähnlich wie bei ***Probe No. 3,*** mit dem Unterschiede, dass hier auch ***Magnesia*** nachgewiesen wurde.

Probe No. 5: Verputz von Bruchsteingemäuer an einer zweiten Stelle entnommen.

Lösliche Salze: 1,20 %.

Lösung ***reagiert alkalisch;*** chemische Zusammensetzung genau wie bei ***No. 4.***

Probe No. 6: Putz, einer mit hydraulischem Kalk verputzten Backsteinmauer entnommen.

Lösliche Salze: 0,65 %.

Lösung ***reagiert neutral*** und enthält: viel ***Kalk;*** wenig ***Thonerde;*** ***Magnesia*** in Spuren; ziemlich beträchtliche Mengen ***Alkalien*** (Kali u. Natron); ***Kohlensäure; Schwefelsäure;*** keine ***Salpetersäure;*** dagegen ***Chlor.***

Probe No. 7: Putz einer Stotzwand entnommen.

Lösliche Salze: 1,12 %.

Lösung ***reagiert alkalisch*** und enthält vorwiegend *Kalk;* Spuren von *Magnesia;* wenig *Alkalien* (Kali und Natron); *Schwefelsäure;* keine *Kohlensäure* und keine *Salpetersäure;* dagegen geringe Mengen *Chlor.*

Probe No. 8: Putz, einer Schilfrohrwand entnommen.

Lösliche Salze: 0,76 %.

Lösung ***reagiert alkalisch*** und enthält: vorwiegend *Kalk;* Spuren von *Magnesia* und *Alkalien* (Kali und Natron); keine *Kohlensäure;* keine *Salpetersäure;* dagegen *Schwefelsäure* und etwas *Chlor.*

Probe No. 9: Putz, einer Schwemmsteinwand entnommen.

Lösliche Salze: 1,16 %.

Die Lösung ***reagiert alkalisch*** und enthält die gleichen Bestandteile wie die *Lösung No. 8;* nicht vorhanden sind *Salpetersäure* und *Kohlensäure*; vorherrschend ist *Kalk;* nachgewiesen sind ferner geringe Mengen *Magnesia* und *Alkalien; Schwefelsäure* und *Chlor* sind in relativ grösseren Mengen vorhanden.

Probe No. 10: »Mauerblüten«.

(Am Weissputz abgeschabt).

Im siedenden Wasser löslich	42,67 %
In Salzsäure löslicher Rückstand . . .	52,65 »
In Salzsäure unlöslicher Rückstand . .	4,68 »
Summa	100,00 %

Die in Wasser löslichen Salze enthalten: vorwiegend *Kalk;* ferner *Magnesia;* ziemlich viel *Alkalien* (Kali und Natron); relativ viel *Schwefelsäure; Kohlen-* und *Salpetersäure* fehlt; nachgewiesen ist endlich *Chlor.*

Der in Salzsäure lösliche Teil besteht der Hauptsache nach aus *kohlensaurem Kalk* nebst geringen Mengen *Thonerde, Eisenoxyd* und *Schwefelsäure.*

Aus vorstehenden Resultaten der chemisch-analytischen Untersuchung der Menge und der Beschaffenheit der löslichen Salze der unterschiedlichen Putzsorten geht hervor, dass:

a. *Gleiche Gewichtsmengen ein und derselben Putzsorte, aufgetragen auf verschiedenem Grund, auch verschiedene Mengen löslicher Salze ergeben; so enthält:*

der Putz auf Backsteinen	1,58 %	lösliche	Salze,
der Putz auf Bruchsteinen, durchschnittlich	1,22 »	»	»
der Putz auf Schwemmsteinen	1.16 »	»	»
der Putz auf Stotzwand	1,12 »	»	»
Mittel für die drei letzten Grundarten	1,17 %	»	»

Aus vorstehenden Zahlen geht weiter hervor, dass der grösste Gehalt an löslichen Salzen in dem auf Backsteingemäuer aufgetragenem Putze vorkommt; zum *Selbstgehalte an löslichen Salzen dieser Putzmörtel* tritt der aus den Backsteinen selbst herrührende *Salzgehalt* noch hinzu.

b. *Gleiche Gewichtsmengen verschiedener Putzsorten, aufgetragen auf gleichartigem Grund, verschiedene Mengen lösliche Salze besitzen;* so liefert

der Gyps-Weisskalk-Putzmörtel (Weissputz)	1,58 %	lösliche	Salze,
der hydraul. Kalkputzmörtel	0,65 %	»	»

In Hinsicht auf den Gehalt an löslichen Salzen sind die hydraulischen Kalke sehr verschiedenartig; zweifellos gibt es auch solche, deren Gehalt an löslichen Salzen denjenigen des weisskalkarmen, gypsreichen Weissputzes übertrifft.

c. *Die Lösungen der Salze herrührend aus den Backsteinen und dem hydraulischen Kalke reagieren neutral; die Lösung der Salze aus den übrigen Putzmörteln dagegen alkalisch,* d. h. sie wirken kalkwasserartig ätzend auf die tierische Haut, auf organische Stoffe und müssen daher auch bleichend auf die Farbtöne von Tapeten einwirken. Hieraus geht weiter hervor, dass

Die Ursache des Auftretens der Mauerblüten auf dem Weissputze (Deckputz) und der beobachtete Tapetenfrass im streitigen Vereinshause nicht in der Anwendung verdorbener Kalke oder Gypse und schlechtem Sande, und ebensowenig den löslichen Salzen der vermauerten Backsteine, als vielmehr und hauptsächlich der ätzenden Wirkung des Weisskalkes des Verputzes selbst zuzuschreiben sei. Offenbar waren die an und für sich stark wassersaugenden Backsteine zur Zeit des Auftragens des zweiten Deck- oder Weissputzes noch feucht. Man hat dem Gebäude die zur durchgreifenden Trocknung des Gemäuers und des Verputzes erforderliche Zeit nicht gelassen; die Wände des Bauwerks wurden in noch feuchtem Zustande tapeziert, und nun begann die

Einwirkung des verdunstenden, salzführenden, teilweise ätzenden Wassers.

Die, die löslichen Salze der Backsteine und des Fugenmörtels führende Feuchtigkeit des Gemäuers durchzog die kapillaren Hohlräume des Verputzes, nahm der Hauptsache nach aus diesem lösliche, zum teil ätzende Salze auf und verdampfte schliesslich unter Zurücklassung der letzteren als Mauerblüten an den Verputzoberflächen. Hierbei ging die Bildung konzentrierter Lösungen, einer Art Mutterlauge voraus, die desto energischer das Papier und die Farben der Tapeten angreifen musste, je ätzender dieselbe gewesen. Es gilt daher als Grundregel des Baugewerbes, feuchte Wände auf natürlichem Wege durch Zugluft zu trocknen und dieselben erst dann zu tapezieren, wenn der Träger der schädlichen Salze, *das Wasser des Gemäuers, abgeschieden,* d. h. wenn die Mauern trocken sind.

VI. Zur Frage der Qualitäts-Vorschriften für künstliche Mauersteine und Dachziegel.

Die Mannigfaltigkeit der Erzeugungs- und Verwendungsarten der künstlichen Mauer- und Dachsteine erschwert die Aufstellung einheitlicher Bestimmungen für deren Lieferung und Prüfung und erklärt, wesshalb bislang alle Versuche, solche Vorschriften aufzustellen, gescheitert sind. Ein zwingender Grund zur Aufstellung solcher Vorschriften für Produkte der Thon- und Cementwaren-Industrie liegt überhaupt nicht vor; dies um so weniger, als einerseits speziellen Bedürfnissen der Interessent in den technischen Bestimmungen seine Verträge mit Materiallieferanten Fall für Fall Rechnung zu tragen ausreichend Gelegenheit findet, andererseits sich diese Vorschriften an die in Kraft stehenden baupolizeilichen Vorschriften der massgebenden Bauverwaltungen anlehnen müssen. Vielerorts bestehen einschlägige behördliche Bestimmungen überhaupt nicht, und auch die vorhandenen stehen nicht immer auf der Höhe ihrer Aufgabe. Örtlich ist die Wahl der Qualität des zu verwendenden Materials dem Gutfinden des Interessenten überlassen, während an anderen Orten Bestimmungen nicht selten sind, durch welche ordinäre Hintermauerungsgesteine über reinfarbige Verblender, Steine mit zweifelhafter Struktur und Frostfestigkeit qualitativ über solche gehoben erscheinen, deren Wassersaugkraft, Fähigkeit in Wasser zu erhärten, die Verwendbarkeit des Materials zu Grund- und Wasserbauten aussprechen. Auf Struktur, Wassersaugkraft, Gehalt an löslichen Salzen, auf die Widerstandsfähigkeit gegen Einwirkung der Atmosphärilien, auf die Fähigkeit des Erweichens in Wasser als Messer der Brandstärke der Produkte der Thonwaren-Industrie wird in baupolizeilichen Vorschriften nur ausnahmsweise Bezug genommen.

Das vorliegende Heft enthält ausreichende Unterlagen zur Aufstellung sachgemässer Vorschriften für die Auswahl künstlicher Mauer- und Dachsteine. Lediglich nur um die Anwendung des hier niedergelegten Zahlenmaterials zu erleichtern und ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, sind nachstehende Zusammenstellungen angefertigt und an diese Entwürfe von Gütevorschriften für eine Reihe Mauer- und Dachsteinsorten angegliedert worden.

In nachfolgenden tabellarischen Zusammenstellungen seien zunächst die Durchschnittswerte der auf Seite 105 bis 123 spezifizierten Resultate der Untersuchungen der Produkte der schweizerischen Thon- und Cementwaren-Industrie wiedergegeben, und zwar

Kategorie A: Thonwaren.

a) Wassersaugkraft.

Gegenstand	Anzahl der Einzelproben	Wasseraufnahme in %		
		Mittel	Maximum	Minimum
A. Mauer- und Formsteine.				
Handsteine	36	23,6	33	10,0
Maschinen-Vollsteine	32	19,3	32	10,0
Nachgepresste Vollsteine	3	14,1	22	9,3
Lochsteine	59	21,1	37	2,6
Hohlsteine	13	24,1	37	6,8
B. Dachziegel.				
Handstrich-Ziegel	13	24,1	36	13,3
Strang-Ziegel	30	20,0	38	6,0
Strangfalz-Ziegel	31	20,3	27	13,0
Pressfalz-Ziegel	11	18,6	24	12,0
Hohlstrangfalz-Ziegel	3	25,0	36	19,0

b) Porositäts-Verhältnisse.

Gegenstand	Anzahl der Einzelproben	Scheinbare Porosität in %			Absolute Porosität in %		
		Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.
A. Mauer- und Formsteine.							
Handsteine	29	37,0	48	21	40,1	50	22
Maschinen-Vollsteine	21	32,4	48	20	36,9	45	20
Nachgepresste Vollsteine	2	29,5	38	21	29,5	37	22
Lochsteine	47	34,6	52	20	—	—	—
»	46	—	—	—	38,0	53	23
Hohlsteine	13	37,3	47	22	40,3	52	23
B. Dachziegel.							
Handstrich-Ziegel	13	37,3	49	22,5	40,3	52	32
Strang-Ziegel	30	32,9	51	12,0	35,5	50	21
Strangfalz-Ziegel	28	34,3	42	24,1	—	—	—
» »	31	—	—	—	35,9	44	25
Pressfalz-Ziegel	11	32,1	40	22,0	34,7	39	26
Hohlstrangfalz-Ziegel	3	39,0	51	31,0	41,0	51	34

c) Gehalt an löslichen Salzen.

Gegenstand	Anzahl der Einzelproben	Lösliche Salze in %		
		Mittel	Maximum	Minimum
A. Mauer- und Formsteine.				
Handsteine	29	0,21	0,92	0,08
Maschinen-Vollsteine	21	0,22	0,46	0,06
Nachgepresste Vollsteine	2	0,16	0,18	0,14
Lochsteine	50	0,30	1,14	0,06
Hohlsteine	21	0,25	0,88	0,03
B. Dachziegel.				
Handstrich-Ziegel	13	0,23	0,61	0,10
Strang-Ziegel	30	0,25	1,64	0,07
Strangfalz-Ziegel	29	0,26	1,41	0,06
Pressfalz-Ziegel	11	0,26	0,55	0,08
Hohlstrangfalz-Ziegel	3	0,22	0,32	0,13

d) Druckfestigkeit kg/cm², bezw. Bruchfestigkeit kg absolut,

in trockenem Zustande.

Gegenstand	Anzahl der Einzelproben	Druckfestigkeit kg/cm² Mittel	Maximum	Minimum
A. Mauer- und Formsteine.				
Handsteine	39	174	311	36
Maschinen-Vollsteine	32	278	487	128
Nachgepresste Vollsteine	4	294	383	235
Lochsteine	64	278	582	106
Hohlsteine	35	124	437	21

Gegenstand	Anzahl der Einzelproben	Bruchfestigkeit kg absolut Mittel	Maximum	Minimum
B. Dachziegel.				
a) Lattung ca. 20 cm.				
Handstrich-Ziegel	13	134	270	67
Strang-Ziegel	29	188	374	83
Strangfalz-Ziegel	7	244	312	169
Pressfalz-Ziegel	2	219	222	216
Hohlstrangfalz-Ziegel	—	—	—	—
b) Lattung ca. 30 cm.				
Handstrich-Ziegel	—	—	—	—
Strang-Ziegel	1	213	—	—
Strangfalz-Ziegel	25	165	256	73
Pressfalz-Ziegel	10	247	331	163
Hohlstrangfalz-Ziegel	3	221	260	187

e) Erweichungs-Koeffizient,

nach 28-tägiger Wassereinwirkung.

Gegenstand	Anzahl der Einzelproben	Erweichungs-Koeffizient $\varkappa$		
		Mittel	Maximum	Minimum
A. Mauer- und Formsteine.				
Handsteine	33	1,09	1,50	0,90
Maschinen-Vollsteine	32	1,07	1,70	0,60
Nachgepresste Vollsteine	3	1,10	1,20	1,00
Lochsteine	58	0,96	1,80	0,60
Hohlsteine	35	1,07	1,90	0,70
B. Dachziegel.				
Handstrich-Ziegel	13	1,01	1,40	0,80
Strang-Ziegel	30	1,01	1,20	0,80
Strangfalz-Ziegel	32	1,03	1,30	0,80
Pressfalz-Ziegel	12	1,10	1,40	0,90
Hohlstrangfalz-Ziegel	3	0,90	0,90	0,90

Kategorie B: Cementwaren.

a) Wassersaugkraft.

Gegenstand	Anzahl der Einzelproben	Wasseraufnahme in %		
		Mittel	Maximum	Minimum
Cementsteine	11	7,28	14,10	1,90
Hochofen-Schlackensteine	3	16,20	25,00	2,10
Steinkohlen-Schlackenstn.	4	17,40	23,00	13,00
Kalksandsteine	3	24,80	25,50	24,30
Schwemmsteine	—	—*)	—	—

*) Nicht ermittelt.

b) Porositäts-Verhältnisse.

Gegenstand	Anzahl der Einzel-proben	Scheinbare Porosität in %			Absolute Porosität in %		
		Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.
Cementsteine	—	— *)	—	—	—*)	—	—
Hochofen-Schlackensteine	—	—*)	—	—	—*)	—	—
Steinkohlen-Schlackenstn.	—	—*)	—	—	—*)	—	—
Kalksandsteine	3	40,2	41,1	39,4	31,6	35,8	29,1
Schwemmsteine	—	—*)	—	—	—*)	—	—

c) Druckfestigkeit, kg/cm², in trockenem Zustande.

Gegenstand	Anzahl der Einzelproben	Druckfestigkeit, kg/cm²		
		Mittel	Maximum	Minimum
Cementsteine	57	115	308,5	28,9
Hochofen-Schlackensteine	8	144	290,0	18,0
Steinkohlen-Schlackenstn.	10	42	69,0	13,7
Kalksandsteine	17	226	379,0	85,0
Schwemmsteine	1	18	18,0	18,0

d) Erweichungs-Koeffizient, nach 28-tägiger Wassereinwirkung.

Gegenstand	Anzahl der Einzelproben	Erweichungs-Koeffizient $\varkappa$		
		Mittel	Maximum	Minimum
Cementsteine	10	1,20	1,50	1,00
Hochofen-Schlackensteine	3	1,20	1,30	1,10
Steinkohlen-Schlackenstn.	4	0,95	1,20	0,60
Kalksandsteine	4	1,50	1,70	1,10
Schwemmsteine	—	—	—	—

*) Nicht ermittelt.

Auf Grundlage der vorstehend zusammengestellten Versuchsresultate wird sich empfehlen bei Abfassung baupolizeilicher Vorschriften oder von Verträgen für die Materiallieferungen auf folgende Ansätze abzustellen:

Kategorie I: Thonwaren.

1. Verblender.

Verblender für Hochbauten; unverputztes Einfriedigungsgemäuer u. d. m.

Normalformat für ebenflächiges Gemäuer: 25 × 12 × 6 cm mit ± 1,5% Toleranz für die Abmessungen der Steine. Dieselben müssen reinfarbig, scharfkantig, ebenflächig, hellklingend, frost- und wetterbeständig sein. Das Gefüge der Steine muss schichtungslos und die Masse frei sein von körnigen Kalkeinsprenglingen oder Mergelknollen. Die Wasseraufnahmsfähigkeit soll unter 10% bleiben, der Gehalt an löslichen Salzen höchstens: 0,25% betragen.

Die Druckfestigkeit soll bei

Maschinen-Vollsteinen nicht unter 250 kg/cm²;
Lochsteinen » » 300 » ;
einreihigen *Hohlsteinen* » » 200 » sinken,

wobei der Erweichungs-Koeffizient des Materials nicht über 1,2 steigen darf.

2. Hintermauerungs-Steine.

Für Hochbauzwecke.

Normalformat für ebenflächiges Gemäuer: 25 × 12 × 6 cm mit ± 4% Toleranz für die Abmessungen der Steine. Dieselben sollen hellklingend, angemessen ebenflächig und scharfkantig, stets frei sein von Kalkeinsprenglingen und Mergelknollen.

Die Druckfestigkeit soll für die verschiedenen Steinsorten nicht unter folgende Ansätze sinken:

für *Handsteine* . . . . . 150 kg/cm²,
» *Maschinen-Vollsteine* . . 180 » ,
» *Lochsteine* . . . . . 200 » ,
» *einreihige Hohlsteine* . . 150 » ,
» *mehrreihige* » . . 60 » .

3. Grundbausteine.
Für Mauerwerk im feuchten Boden, für Kanal-, Brücken-, Tunnel- und Wasserbauten.

Normalformat für ebenflächiges Gemäuer: 25 × 12 × 6 cm mit ± 2 % Toleranz für die Abmessungen der Steine. Dieselben sollen hellklingend, scharfkantig, ebenflächig, frost- und wetterbeständig sein; das Gefüge muss schichtungslos und die Masse frei sein von körnigen Kalkeinsprenglingen oder Mergelknollen. Die Wasseraufnahme soll unter 2 % liegen. Die Druckfestigkeit des Materials soll bei *Maschinen-Voll-* und *Lochsteinen* 400 kg/cm² nicht unterschreiten, wobei der Erweichungs-Koeffizient des Materials nicht über 1,0 steigen darf.

4. Dachziegel.
(Unglaciert).

Dachziegel müssen möglichst reinfarbig, geradkantig und ebenflächig, hellklingend, frost- und wetterbeständig sein. Die Falze der Falzziegel müssen tadellos ineinander greifen, schnee- und wasserdicht schliessen. Das Gefüge der Steine muss schichtungslos und die Masse frei sein von körnigen Kalkeinsprenglingen oder Mergelknollen. Die Wasseraufnahmsfähigkeit der Masse soll unter 10 % fallen und ein an den Anbruchflächen mit Wachs abgedichteter Scherben von ca. 12 × 12 cm bei 1 cm Wasserdruck innerhalb 24 Stunden keine tauartige Benetzung der untern Fläche erfahren und bei noch so langer Beobachtungsdauer keine Tropfenbildung ergeben.

Die Bruchfestigkeit der Dachziegel soll betragen:

bei	*Handstrich-Ziegeln*	mindestens:	125 kg	absolut,
»	*Strang-Ziegeln*	» :	150 »	» ,
»	*Strangfalz-Ziegeln*	» :	200 »	» ,
»	*Pressfalz-Ziegeln*	» :	250 »	» ,
»	*Hohlstrangfalz-Ziegeln*	» :	250 »	» ,

dabei darf der Erweichungs-Koeffizient des Materials nicht über 1,2 steigen.

Kategorie II: Cementwaren.

1. Cementsteine.
Für Hoch- und Grundbauten aller Art.

Normalformat für ebenflächiges Gemäuer: 25 × 12 × 6 cm mit ± 1,5 % Toleranz für die Abmessungen der Steine. Dieselben

müssen reinfarbig, dürfen nicht hygroscopisch, scharf- und vollkantig, ebenflächig, angemessen hellklingend, frost- und wetterbeständig sein. Das Gefüge muss homogen, schichtungslos und die Grundmasse derart zusammengesetzt sein, dass verunstaltende Ausschwitzungen verhindert werden. Die Wasseraufnahmsfähigkeit soll unter 15 %, der Gehalt an löslichen Salzen unter 0,5 % bleiben.

Die Druckfestigkeit soll
bei *erstklassigen Cementsteinen* nicht unter 250 kg/cm²,
» *zweitklassigen* » » » 125 » sinken,
wobei der Erweichungskoeffizient des Materials nicht über 1,2 steigen darf.

2. Kalksandsteine.

Für Hochbauzwecke.

Normalformat für ebenflächiges Gemäuer: 25 × 12 × 6 cm mit ± 1,5 % Toleranz für die Abmessungen der Steine. Dieselben müssen reinfarbig, scharf- und vollkantig, ebenflächig, angemessen hellklingend, frost- und wetterbeständig sein. Das Gefüge muss homogen und schichtungslos sein. Die Wasseraufnahmsfähigkeit soll unter 10 %, und der Gehalt an löslichen Salzen höchstens 0,5 % betragen.

Die Druckfestigkeit soll nicht unter 200 kg/cm² sinken, wobei der Erweichungs-Koeffizient nicht über 1,2 steigen darf.

3. Schwemm- und Schlackensteine.

Für unbelastete Scheide- oder Riegelwände, unbelastete Boden- und Deckengewölbe, u. d. m.

Die kleinste zulässige Druckfestigkeit soll betragen:
bei *Schwemmsteinen* (rheinische) 15 kg/cm²,
» *Schlackensteinen* (mit Steinkohlenschlacken) 50 » .

Nachtrag.

Zur Vergleichung vorstehender Ansätze lassen wir die Bestimmungen über Normalformat und Qualitätsforderungen hier noch folgen, welche auf Antrag des Hrn. Architekt Alex. *Koch* der schweizerische Ingenieur- und Architekten-Verein in seiner General-Versammlung zu Zürich am 17. Juni 1883 genehmigt hat.

1. Als *Normalformat* für gewöhnliche Mauersteine wird erklärt
25 × 12 × 6 cm

2. Beim Ziegelmauerwerk sollen die Stossfugen 1 cm betragen und bei Verwendung von 6 cm starken Steinen sollen 14 Schichten auf 1 m gehen.

3. Die Mauerstärken exkl. Putz gestalten sich bei Anwendung des Normalformates wie folgt:

in Steinstärken:	1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5
Mauerstärke in cm:	12	25	38	51	64	77	90	103	116	129

4. Jede Ziegelei hat zu den von ihr fabrizierten Mauerziegeln die entsprechenden Quartiere in genügender Menge in Vorrat zu halten etc. etc. Die Quartiere erhalten folgende Abmessungen:

Steinstärke:	3/4	1/2	1/4
Abmessungen der Quartiere, an:	18,5 × 12 × 6;	12 × 12 × 6;	5,5 × 12 × 6

5. Die zum Bau gelieferte Ware soll möglichst gleichmässigen Brand resp. Festigkeit zeigen und es sollen die gewöhnlichen Mauersteine in nassem und trockenem Zustande folgende Festigkeitszahlen aufweisen:

	II. Klasse:	**I. Klasse:**
a. *Handsteine*	*180* kg/cm²;	—
b. *Maschinen-Vollsteine*	*200* » ;	> *280* kg/cm²
c. *Lochsteine*	*220* » ;	> *300* »
d. *Hohlsteine**)	*100* » ;	—

6. Die Steine sollen gleichmässig durchgebrannt, hellklingend, ohne Risse und Kalk, gerade und möglichst gleich lang, breit und dick sein.

7. Die Steine sind von dem ihnen anhaftenden Sand befreit zur Bauhütte zu liefern.

---

*) bezeichnet durchlöcherte Steine.

VII. Einteilung, Benennung und Beurteilung der natürlichen Bausteine nach ihrer petrographischen Beschaffenheit und geologischen Stellung

von

Dr. U. Grubenmann,
Professor der Mineralogie und Petrographie am schweiz. Polytechnikum.

Unter »Gesteinen« versteht man im allgemeinen solche Mineralien oder Mineralaggregate, welche vermöge ihrer grossen Menge an der Zusammensetzung der Erdrinde einen hervorragenden Anteil nehmen. Sehr viele derselben haben bei ausgedehnteren und gleichmässigen Vorkommnissen schon seit dem grauesten Altertum als »Baumaterialien« technische Bedeutung angenommen.

Bloss eine bescheidene Zahl von ihnen besteht aus einerlei Mineralsubstanz, wie z. B. der Marmor ($CaCO_3$), Dolomit ($CaMgC_2O_6$), Quarz (SiO_2), Serpentin ($Mg_3Si_2O_9H_4$); weitaus die Mehrzahl, und zugleich die am meisten verbreiteten sind aus mehreren Mineralien zusammengesetzt, also Mineralaggregate, z. B. Granit, Gneiss, Nagelfluh, deren Gemengteile nach Quantität und Qualität (Korngrösse und Farbe) den allergrössten Wechsel zeigen, wodurch einerseits ein und dasselbe Gestein seinen äussern Habitus ganz ausserordentlich variieren, andererseits aber auch verschiedene Gesteine ein täuschend ähnliches Aussehen annehmen können. So vermitteln sich ferner die allmäligen Übergänge zwischen den einzelnen Gesteinsarten. Unter den gegen 1000 Mineralarten sind es vielleicht ungefähr 30, die als »Gesteinsbildner« eine wesentliche Rolle spielen.

Für das Erkennen eines zusammengesetzten Gesteins (Mineralaggregat) ist die *Fixierung seiner wesentlichen Gemengteile*

in erster Linie wichtig. Daneben schliesst aber ein derartiger Gesteinskörper auch noch *unwesentliche* oder *accessorische Gemengteile* ein, durch deren Zunahme die Eigenschaften und die technische Verwendbarkeit in günstigem oder ungünstigem Sinne verschoben werden können; in zweiter Linie kommen bei der Bestimmung eines Gesteinskörpers in Betracht das durch die Entstehung des Gesteins bedingte Gefüge des Aggregates, die »*Struktur*« und die Art der räumlichen Anordnung der Gemengteile, die »*Textur*«, sowie endlich in dritter Linie die *geologische Lagerungsform* innerhalb der Erdkruste, die wiederum eine Folge der Entstehungsart ist.

Man nennt die *Struktur* eine »*granitische*«, wenn während der Gesteinswerdung jeder Gemengteil wegen der Konstanz der genetischen Bedingungen nur in *einer Generation* ausgebildet wurde; dagegen wird sie als eine »*porphyrische*« bezeichnet, falls ein oder mehrere Komponenten im Wechsel der Entstehungsbedingungen in verschiedenen Phasen der Gesteinsgenese zur Entstehung kommen konnten, also im fertigen Gestein in *mehreren Generationen* auftreten. Die ältesten erscheinen gewöhnlich in wenig zahlreichen, aber gut ausgebildeten, grösseren Krystallen, die als »*Einsprenglinge*« dem unbewaffneten Auge leicht wahrnehmbar sind; die Gemengteile der jüngeren Generationen hingegen treten meist in grosser Menge, dafür aber in kleinen, sehr oft nur mikroskopisch unterscheidbaren Individuen auf, und bilden dann entweder für sich allein oder recht häufig unter Beihülfe eines nicht krystallisierten Restes von amorphem Gesteinsglas die *holokrystalline* oder *hemikrystalline Grundmasse*, in welcher die Einsprenglinge eingebettet sind. Einsprenglinge und Grundmasse zeigen in ihren gegenseitigen Quantitäten die allergrössten Schwankungen bis zum Ausschluss des einen oder andern.

Bei *massiger Gesteinstextur* haben die Gesteinsgemengteile sich nach allen Richtungen des Raumes in derselben regellosen Weise zusammengelagert; lässt sich dagegen eine Anordnung der Komponenten nach bestimmten Flächen, Linien oder Punkten erkennen, so spricht man von *schiefriger, linearer* (gestreckter) oder *sphärischer* (oolithischer) Textur.

Von vielen Gesteinsarten weiss man, dass sie einstens aus Schmelzfluss erstarrt sind: *Erstarrungsgesteine* (plutonische, vulkanische, eruptive Gesteine); sie erscheinen der Erdrinde eingefügt

als *Stöcke* oder *Lager,* oder ihr aufgelagert in Gestalt von *Kuppen.* Manche durchsetzen sie in der Form von *Gängen,* noch andere haben sich als *Decken* und *Ströme,* der heutigen Lava gleich, über die Erdoberfläche ergossen. — Eine andere Reihe von Gesteinsformen wurde in Gestalt von *Bänken, Schichten* oder dünnplattigen *Schiefern* auf der Erdoberfläche aus Wasser oder Luft niedergesetzt: *Sedimente.* Ihr Alter wird ausser durch die Art der Auflagerung bestimmt durch die von ihnen eingeschlossenen Versteinerungen (Petrefakten, Fossilien). — Erstarrungsgesteine sind stets ursprüngliche Gebilde; *sie* insbesondere lieferten auf dem Wege der Zerstörung zunächst den Stoff zum Absatz der Sedimente. Beide Gesteinsreihen haben aber *nach* ihrer Entstehung im Laufe der Erdgeschichte oft in sehr durchgreifender Art ihren ursprünglichen Habitus verloren und sich in neue Gesteinsformen umgewandelt: *metamorphe Gesteine.*

Stofflich, und das muss für die Betrachtung als Baumaterial der massgebende Gesichtspunkt sein, haben sich die ursprünglichen Erstarrungsgesteine bei vorwiegend massiger Textur aufgebaut aus mancherlei Salzen der Kieselsäure oder Silikaten. Sie mögen daher zusammen mit ihren geschieferten, metamorphischen Verwandten hier als »*Silikatgesteine*« zusammengefasst werden. Die Sedimente hingegen lassen sich wiederum substantiell gliedern in *Kalkgesteine, Thongesteine* und *Trümmergesteine.* Innerhalb dieser vier Hauptgruppen können die weiteren Gliederungen und Unterscheidungen auf die Texturen und Strukturen, sowie auf das geologische Auftreten und die Gemengteile der Gesteine basiert werden. Ihr Verhalten als Baumaterialien gegen äussere Einflüsse, die Dauerhaftigkeit (Festigkeit, Abnützbarkeit, Frostbeständigkeit) und die Art der Verwendbarkeit derselben als Bau-, Dekorations- oder Werksteine hängen aber ausser von der Art der *Komponenten insbesondere von den strukturellen und texturellen Eigentümlichkeiten der Gesteinsformen ab* und lassen sich an ihrer Hand beurteilen. Dabei reicht allerdings in manchen Fällen das unbewaffnete Auge nicht aus, und wird es alsdann notwendig, an die *mikroskopischen Bilder der Gesteinsdünnschliffe und an die modernen petrographischen Arbeitsmethoden* zu appellieren. *Praxis und Theorie werden sich hierin vorteilhaft gegenseitig stützen und ergänzen.*

1. Silikatgesteine.

A. Erstarrungsgesteine mit massiger Textur (ursprüngliche Gesteine).

a) Massige Gesteine mit granitischer Struktur und Auftreten in Gestalt von Stöcken und Lagern (Granit, Syenit, Diorit, Gabbro, Serpentin).

Die hierher gehörenden Gesteinsformen sind das Produkt eines durch ungemessene Zeiträume andauernden Erstarrungsprozesses unter konstantem Druck; sie zeigen daher einen äusserst gleichmässigen Bau; innerhalb der Stöcke oder Lager nimmt die Grösse der Gemengteile gegen die Peripherie hin allmälig ab. Die durch Abkühlung und Kontraktion des ganzen Gesteinskörpers erzeugten Absonderungsklüfte haben im allgemeinen einen kubischen bis polyedrischen Verlauf; endlich kann auch Schalung eintreten parallel der Oberfläche oder Absonderung in Säulen senkrecht zu dieser.

α. Der Granit, das weitaus bekannteste und verbreitetste Glied und der Haupttypus der ganzen Reihe, besteht aus Quarz und Feldspath neben Glimmer oder Hornblende in grob- bis feinkörnigem Gemenge. Die eckigen, fettglänzenden, grauweissen bis rauchgrauen Körner des Quarzes (SiO_2) bedingen hauptsächlich die grosse Härte und Politurfähigkeit des Gesteins; er ist chemisch am meisten widerstandsfähig. Am glas- und perlmutterglänzenden Feldspath, zumeist Kalifeldspath oder Orthoklas ($KAlSi_3O_8$) hängt die vorherrschend weisse, graue, grüne oder verschiedentlich rote Farbe des Gesteins; daneben findet sich oft ein matter, mehligweisser Kalknatronfeldspath, Plagioklas ($CaNa_2Al_2Si_{11}O_{32}$) zuweilen auch kenntlich an einer parallelen Zwillingsstreifung. Beide unterliegen durch den Einfluss von Feuchtigkeit und Kohlensäure bei allmäliger Abfuhr von kieselsauren Alkalien dem Prozess der Kaolinisierung und verraten dadurch den bald nur oberflächlich unfrischen, bald tiefer verwitterten (»verfaulten«) Granit. Die regellos eingebetteten, bald silberweissen (Kali-Glimmer, Muscovit $KH_2Al_3Si_3O_{12}$) bald grün bis schwarzen (Magnesiumglimmer, Biotit $KHMgFeAl_2Si_3O_{12}$) elastischbiegsamen Glimmerblättchen beeinflussen bei zunehmender Menge die Politurfähigkeit und Abnützung in ungünstigem Sinne; die gelegentlich ebenfalls vorhandenen mattschwarzen Prismen der Hornblende ($Mg_4FeCaAl_2Si_8O_{18}$) sind

diesbezüglich günstiger zu taxieren. Indessen kann in diesen Komponenten eine weitergehende chemische Zersetzung durch die Anwesenheit von Eisen eine Rostfleckenbildung im Gefolge haben. Verhängnisvoller ist in dieser Beziehung allerdings der unwesentliche Gemengteil Magnetit (Fe_3O_4) und besonders der accessorische Pyrit (FeS_2). Das »Rostigwerden« sonst tadelloser Granite ist zumeist fein verteiltem oder nestartig angehäuftem Pyrit zuzuschreiben, der oft erst nach längeren Jahren auf diese unangenehme Weise sich bemerkbar macht.

Rohbehauene und besonders polierte Granite sind meist von prächtiger Wirkung, zwar wegen der Härte schwer zu bearbeiten und deshalb etwas teuer, aber dessenungeachtet ungemein häufig angewendet, sowohl bei Hoch- und Kunstbauten, als auch beim Wasser- und Strassenbau, besonders zur Grundmauerung. Mittelkörnige, quarzreiche Sorten werden den grob- oder feinkörnigen, glimmerreichen vorgezogen. Die zuverlässige Gleichförmigkeit des Gesteins erleidet im Steinbruchbetrieb nicht gar selten eine unangenehme Unterbrechung durch starke Zerklüftungen oder »Ablösungen«, besonders in feinkörnigen Graniten, die rascher erstarrt sind und schneller abgekühlt wurden. Auch beim Brechen, Transport oder Abladen bekommt oft der beste Granit kleine und von blossem Auge nicht zu erkennende Haarrisse, in welche die Feuchtigkeit eindringen und gefrieren kann, wodurch auch das sonst härteste und frischeste Gestein seine Frostbeständigkeit verliert. Granit gilt im übrigen von Alters her als das Vorbild des Festesten und Unverwüstlichsten und erfreut sich in allen Ländern einer so allgemeinen Verbreitung, dass besondere Vorkommnisse hier nicht angeführt zu werden brauchen. In der Technik und im Handel hält man sich gewöhnlich nicht an die genauere petrographische Unterscheidung von Muscovit-, Biotit-, Hornblende- etc. Granit, sondern zumeist an Lokalbezeichnungen: Alpengranit (Protogin), Schwarzwaldgranit, schwedischer Granit, Baveno-, Gurtnellen-, Mauthausener-, Pilsner-Granit.

β. Der Syenit, benannt nach der aegyptischen Stadt Syene, dem heutigen Assuan, von welcher ihn die alten Aegypter zu ihren Pyramiden und Obelisken bezogen, ist ein Granit ohne Quarz und mit ihm durch alle Übergänge verbunden; gewöhnlich enthält er statt Glimmer (Biotit) die schwarze säulige Hornblende. — Die Abwesenheit des Quarzes bedingt eine leichtere

Bearbeitung und deswegen gewinnt das durch den vorherrschenden Orthoklas gelb, rot oder braun gefärbte Gestein vermöge seiner Politurfähigkeit, seines Glanzes und seiner Farbenwirkung in monumentaler Verwendung eine ebenso grosse Bedeutung wie Granit; seine ausserordentliche Zähigkeit macht es auch geeignet für Strassenbaumaterial und Strassenpflaster (Dresden).

Die Verbreitung ist eine viel bescheidenere als beim Granit; bekannt durch ihre Schönheit sind namentlich die sächsischen (vom Plauenschen Grunde), skandinavischen, Odenwälder-, Fichtelgebirgs-, Südtiroler- (Predazzo) und Piemonteser- (Biella) Syenite. Sie gelten bezüglich Festigkeit und Abnützbarkeit als dem Granite mindestens ebenbürtig, desgleichen, wie die Erfahrungen an alten Monumenten und die Laboratoriumsversuche beweisen, hinsichtlich der Wetterbeständigkeit; im weiteren gilt auch hier das beim Granite angeführte.

γ. *Die Diorite* gehen den Graniten und Syeniten parallel, indem an die Stelle des Kaliumfeldspathes oder Orthoklases der letzteren, bei den Dioriten ein saurer Natrium-Calciumfeldspath oder Plagioklas (meist Oligoklas) getreten ist, der in matt-weisser Farbe sich neben Hornblende oder dunklem Biotitglimmer befindet, wozu bei den Quarzdioriten sich auch noch Quarz gesellt. Starkes Überhandnehmen der schwarzgrünen Hornblende führt zu den *Hornblendegrünsteinen,* die bei schiefriger Textur ihrerseits wieder in *Hornblendeschiefer* übergehen können. Ein selten fehlender accessorischer Gemengteil ist der speisgelbe metallisch glänzende Pyrit, dessen leichte Verwitterbarkeit nicht bloss unschöne Rostflecken erzeugt, sondern bei fortgesetzter Einwirkung sogar die Haltbarkeit des ganzen Gesteins beeinträchtigen kann. Die Plagioklase und Hornblenden sind sonst hier noch sehr widerstandsfähig und geben letztere dem Gesteine eine ausserordentliche Zähigkeit, das deshalb schwieriger zu gewinnen und nicht leicht zu polieren ist. Trotzdem finden helle und dunkle Diorite in sehr haltbaren polierten Arbeiten recht oft dekorative Verwendung; Fichtelgebirgs- und Odenwälderdiorite werden als Grabdenkmäler wohl allen andern Gesteinen vorgezogen. In Schottland und Belgien gelten sie als beste Pflastersteine und vorzüglichste Schottermaterialien, die ihrer Zähigkeit wegen wenig Staub erzeugen. Liefern doch die grossartigen belgischen Quarzdioritbrüche in Quenast bei Brüssel

allein per Jahr etwa 25,000,000 Pflastersteine, 90,000 m^3 Schotter und 60,000 m^3 Bettungsmaterial. Der Kugeldiorit von Sartene auf Corsika mit sphärischer Textur gilt in Italien als prächtiger Dekorationsstein. Die Dioritstöcke und -Lager sind aber weder sehr gross, noch sehr zahlreich, meist recht unregelmässig zerklüftet, bei vorhandener Schieferung gerne geplattet und dann leichter in schöne Platten zu behauen.

δ. Der Gabbro bedeutet eine granitische Vergesellschaftung von basischem Plagioklas (Labrador $Ca_8NaAl_7Si_9O_{32}$) mit Diallag. Ersterer kommt vorwiegend in weisslichgrauen bis bläulichen, länglichen, glänzenden Individuen vor, die meist deutlich Zwillingsstreifung zeigen; statt dessen ist er zuweilen matt graugrün (Saussurit), in beiden Fällen chemisch leicht angreifbar. Der Diallag ($CaMgSi_2O_6$) vertritt die Hornblende in tombakbraunen bis schmutzigölgrünen Prismen, die auf den gut entwickelten Spaltflächen lebhaften Perlmutterglanz zeigen; an seine Stelle tritt in besonders geschätzten Varietäten der grasgrüne glänzende Smaragdit ($CaFeMg_2Si_4O_{12}$) *(Smaragditgabbro)*. Die Korngrösse beider Mineralien ist oft eine sehr bedeutende. Nicht selten führt der Gabbro auch noch ölgrüne glänzende Körner von Olivin ($MgFeSiO_4$) als spezieller *Olivingabbro*, dazu Magnetit und accessorisch Pyrit. — Diese Vereinigung von Mineralien erzeugt eine prächtige Farbenwirkung, die durch eine hohe Politurfähigkeit noch bedeutend erhöht wird; daher war das Gestein schon im Altertum als ornamentaler Baustein sehr geschätzt und wurde besonders von St. Pietro di Rostino auf Corsika bezogen (Verde di Corsica) und in Prachtbauten zu Mosaik-Wandflächen verwendet, ferner zu Tischplatten, kleinen Säulen und Grabsteinen. Tritt der Diallag stark zurück, so dass als Gemengteil nur noch Labradorfeldspath in Betracht kommt, der dann infolge von reichlichen Einschlüssen ein hübsches Farbenspiel entwickelt, so spricht man von »*Labradorfels*«, wie solcher neuerdings besonders aus Südschweden in den Handel kommt und in polierter Form zu Monumenten gern verwendet wird. Im Freien wird indessen die Dauerhaftigkeit besonders bei labradorreichen und olivinhaltigen Formen durch die geringe chemische Konstanz dieser Komponenten sehr beeinträchtigt. — Auch die mächtigen Gabbrostöcke des Harzes, von Schlesien, Sachsen, Graubünden, der Umgebung des Monte Rosa und von Prato bei Florenz

zeugen durch ihre Serpentinhüllen von der Wandelbarkeit des Gesteins, das deshalb für bauliche Zwecke oder Strassenpflasterung nur im engeren Kreise der Vorkommnisse Anwendung findet.

ε. *Der Serpentin* ist strenge genommen nur noch wasserhaltiges Magnesium-Eisensilicat ($Mg_3FeH_4Si_2O_4$) als solches aber das Umwandlungsprodukt von olivin-, hornblende-, diallag- und augithaltigen Gesteinen mit stock- oder lagerhaftem Auftreten, deren Reste er oft noch einschliesst, ausserdem reichlich Magneteisen, Pyrit, Granat. Mit feinkörnigem bis dichtem, aber auch blätterigem oder faserigem Bau verbindet er gelblichgrüne, schmutziggrüne oder grünlichschwarze Farbe, fühlt sich etwas fettig an und zeigt besonders auf polierten Flächen gern Fettglanz. Schmale Adern und Klüfte, die ihn oft durchziehen, sind von lichtgelbem, seidenglänzendem Faserserpentin erfüllt. Frisch gebrochen, in bruchfeuchtem Zustande, ist er so weich, dass er sich mit Messer und Säge leicht schneiden und auch auf der Drehbank bearbeiten lässt. An der Luft erhärtet er durch Wasserabgabe allmälig. Schöne Färbung und Politurfähigkeit machen ihn sehr geeignet für dekorative Verwendung zu Säulen, Sockeln, Vasen, Statuen, Grabsteinen, Gesimsen, Wandbekleidungen, Tischplatten, Fussböden. Schon die Alten benutzten ihn reichlich in ihren Prachtbauten und erscheint er in der Kunstgeschichte als Nero di Prato, Verde di Prato, Verde di Susa nach den alt bekannten Vorkommnissen in der Toskana, in Piemont und von Elba. In Norwegen, Sachsen, Steiermark, Tirol, Graubünden, Wallis, besonders auch im Ural und in den Pyrenäen tritt er mehrfach auf. Er ist nicht bloss wetterbeständig, sondern auch feuerfest und eignet sich daher zu Wärme- und Ofensteinen, Herd- und Brandmauern, Schmelzöfen, Hochofengestellsteinen etc.

b) Massige Gesteine mit holokrystallin-porphyrischer Struktur, die in Gängen und Lagern auftreten (Granit-, Syenitporphyr, Dioritporphyrit, Diabas, Augit-, Labradorporphyrit).

Diese Gruppe ist weniger bedeutsam wegen der im allgemeinen nur bescheideneren Ausdehnung ihrer Vorkommnisse. Die Gänge setzen in der Natur durch Granit-, Syenit- oder Dioritstöcke hindurch und durchkreuzen zum Teil ältere Schiefer-

gesteine und Sedimente. Starke Zerklüftung verhindert meist die Gewinnung grosser Blöcke und stellt sich gern auch der Bearbeitung störend in den Weg. Doch hindert das nicht die Verwendung einschlägiger Materialien im Hochbau, Brücken- und Strassenbau, für rohes Mauerwerk, zu Polierarbeiten geringerer Dimensionen.

α. Der Granitporphyr enthält deutliche »Einsprenglinge« von Quarz und Orthoklas, auch Glimmer, in einer mehr oder weniger feinkörnigen »Grundmasse«, in welcher amorphes Gesteinsglas fehlen soll oder doch nur sehr spärlich auftreten darf. Man erkennt, gewöhnlich allerdings erst mit dem Mikroskop, dass sie aus kleinen Individuen abermals von Quarz und Orthoklas besteht. Wieder bedingt die Farbe der Feldspäthe, weiss, grün oder rot, (die der Einsprenglinge gewöhnlich heller, die der Grundmasse dunkler) die Färbung des Gesteins. — Dumpfer Klang des Materials, Mattheit der Orthoklase, Thongeruch beim Anhauchen, sind sprechende Zeichen der Unfrische, die sich in derselben Weise erzeugt, wie beim verwitternden Granit, auf welchen hier verwiesen werden kann, auch bezüglich der gelegentlichen Entstehung von Rostflecken. In poliertem Zustande dekorativ äusserst wirksam sind die Vorkommnisse von Gérardmer (Vogesen), Liebenstein (im Thüringerwald), Beucha (Sachsen) sowie einzelne weitere Produktionspunkte des Erz- und Riesengebirges, Schwarzwaldes und Böhmens.

β. Der Syenitporphyr mit Einsprenglingen nur von Orthoklas in feinkörniger Grundmasse, soll, weil seltener und hauptsächlich in Norwegen entwickelt, hier bloss kurz erwähnt werden.

γ. Dioritporphyrite werden in Dioritterritorien gefunden als Gesteine mit mattweissen Einsprenglingsplagioklasen, neben oder ohne Quarz, dunklem Glimmer oder Hornblende in feinkörniger Grundmasse von graugrüner oder brauner Färbung, die in der Hauptsache aus Plagioklas besteht. Diese Feldspathe erliegen, wenigstens zum Teil, gerne der Verwitterung, wodurch die Widerstandsfähigkeit des Gesteins etwas erschüttert wird. In den Umgebungen von Meran und im untern Vintschgau finden sie Verwendung für grobes Mauerwerk und zur Strassenbeschotterung.

δ. Der Diabas (Augitgrünstein) ist ein Lagergestein von sehr wechselndem Habitus, eingedrungen zwischen alten Sedi-

menten im Harze, Thüringerwalde, Fichtelgebirge, in Nassau, Sachsen, Böhmen, Norwegen, England. Oft ist er nur ein körniges Gemenge von mehlweissem Labrador oder noch basischerem Plagioklas mit einem Augit ($MgFeCaAl_2Si_2O_{12}$) von dunkelgrüner Farbe, der makroskopisch leicht mit Hornblende verwechselt werden kann. Entweder kommen beide Gemengteile grobkörnig und beiläufig gleich stark vor, dann erscheint das Gestein weissgrün gesprenkelt mit einer Neigung zu radialstrahliger Anordnung der kurzen weissen Feldspathsäulchen, was auf polierten Flächen sehr hübsch wirksam wird, wie manche dekorativ verwendeten Fichtelgebirgsdiabase beweisen, oder der Augit überwiegt stark und nimmt das Gestein infolge der Beimischung von hellgrünem Chlorit ($Mg_3Fe_2Al_2H_8Si_3O_{18}$) eine unbestimmt graugrüne Färbung an. Dieser zuckerkörnige »Grünstein«, der wegen der leichten Zersetzbarkeit der Feldspäthe überdies meist thonig riecht und beim Betropfen mit Salzsäure aufbraust (Gehalt an kohlensaurem Kalk) ist weder als Baumaterial noch zu Strassenpflästerung besonders geeignet. Reichlich vorhandener Magnetit, Pyrit und Ilmenit ($FeTiO_3$) geben bei fortgesetzter Einwirkung von feuchter Luft dem Gestein einen gelblichgrünen Farbenton. Ausser diesen körnigen Formen entwickeln sich aber noch zwei bedeutsame porphyrische Varietäten:

a. Der Labradorporphyrit (Porfido verde antico) mit grossen weissen oder hellgrünen Labradoreinsprenglingen in feinkörniger grüner oder roter (wegen Oxydation) Grundmasse, der besonders im südlichen Griechenland auftritt und im Altertum und Mittelalter vielfach zur Ornamentik Verwendung fand, jetzt auch im Harze und in den Südvogesen bekannt ist.

b. Der Augitporphyrit (Porfido nero antico zum Teil) mit grossen schwarzen Augiteinsprenglingen in dunkelschwarz-grüner, feinkörniger Grundmasse; er ist bekannt aus Südtirol und dem Gebiet der Saar und Nah, und wird in geschliffenem und poliertem Zustande von sehr schöner, ernster Wirkung, an manche Basalte erinnern.

Diese beiden letzten Gesteine werden auch in geologischem Zusammenhang mit Porphyriten und Melaphyren (siehe Ste. 184) angetroffen.

c) Massige Gesteine mit hemikrystallin-porphyrischer Struktur, die in Decken, Strömen und Kuppen auftreten (Quarzporphyr, Liparit, Porphyr, Trachyt, Porphyrite, Andesite, Melaphyr, Basalt, Phonolith, Tephrit, Basanit).

Der porphyrische Charakter dieser Gesteinsreihe sieht wieder dieselbe Art von Einsprenglingen voraus, wie in der vorhergehenden Gruppe; hingegen ist die Grundmasse von feinerem Korn, zumeist dicht; das unbewaffnete Auge ist nicht einmal im Stande, in ihr auch nur einzelne Formen, wie Körner, Blätter, oder Fasern zu unterscheiden, geschweige denn besondere Mineralgemengteile; oft gelingt dies selbst nicht unter dem Mikroskope. Wesentlich ist ferner, dass in der Grundmasse fast stets mehr oder weniger »amorphes Gesteinsglas« vorhanden ist. Je rascher die Abkühlung des über die Erdoberfläche ergossenen Gesteines vor sich gieng, um so schneller wurde die Masse zähe, um so mehr «Glas« musste sich ausbilden, da die Zähigkeit des Schmelzflusses die Ausbildung von Krystallen verhinderte. Dem entsprechend sind auch die äusseren Partieen der Ströme, Decken und Kuppen stets glasreicher, als die centralen. Dort kann sogar ausschliesslich Glas entstehen, während es hier zuweilen auf geringste Spuren beschränkt bleibt. Damit verbindet sich diese Gesteinsreihe in ihrer Struktur mit der vorigen und ersten Reihe. — Die relative Raschheit der Abkühlung bedingt die Ausbildung eines stark entwickelten Kluftsystems, wodurch die Gesteine in Blöcken, Platten oder Säulen sich absondern, was ihre bauliche Verwendung bald in günstigem, bald ungünstigem Sinne beeinflusst; insbesondere die Gewinnung grosser Blöcke wird nur ausnahmsweise möglich sein. Die Anwendung hieher zählender Gesteinsformen geht daher hauptsächlich auf Bruchsteinmauerwerk im Hoch- und Tiefbau, auf Anlage und Beschotterung von Chausseen. Der Verbrauch als Werkstein oder in poliertem Zustande zur Dekoration ist weniger ausgedehnt, obschon einzelne Formen gerade in dieser Richtung seit dem Altertume in höchstem Rufe stehen.

a. Die Quarzporphyre hängen mit den Graniten und Granitporphyren zusammen und repräsentieren deren geologisch altvulkanische Ergüsse. Glasglänzende hell- bis dunkelgraue Quarzeinsprenglinge liegen neben weissen oder gelbroten, glänzenden oft matten Orthoklasen, auch spärlichen dunkeln Glimmern in

einer gewöhnlich ziegel- bis rostroten oder graubraunen Grundmasse, die sehr hart und splitterig, dabei matt, fett-, glas- oder pechglänzend sein kann. Wenn in letzterem Falle die Grundmasse stark vorwiegt, so spricht man speziell von *Pechsteinen;* ihre Farbe ist gewöhnlich schwarz bis grau. Umgekehrt nähert sich das Gestein durch etwelches Körnigwerden der Grundmasse den Granitporphyren. Bei den *Kugelporphyren* hat dieselbe eine sphärische Textur. Fehlen die Einsprenglinge fast ganz, so nennt man das Gestein, das jetzt beinahe ausschliesslich aus Grundmasse besteht, einen *Felsit;* daher bezeichnet man die Quarzporphyre gerne auch als *Felsitporphyre.* — Die feine Struktur und das geologisch hohe Alter dieser Gesteine machen es erklärlich, dass chemische Zersetzungsprozesse an ihnen recht oft mit gutem Erfolge gearbeitet haben. Dies zeigt sich nicht allein in einer mehr oder weniger vorgeschrittenen Kaolinisierung der Feldspäthe, sondern namentlich auch in einer ähnlichen, stärkeren oder schwächeren Umbildung der Grundmasse: der glasharte Felsitporphyr geht dadurch über in *Thonsteinporphyr,* der sich schon mit dem Messer ritzen lässt und Thongeruch zeigt, und schliesslich in lockeren, nahezu erdigen *Thonporphyr.*

Die frischen Gesteine hingegen sind ausserordentlich fest, wetterbeständig, spröde und hart, ein hochgeschätztes Pflästerungs- und Beschotterungsmaterial, das bei plattiger Absonderung auch vorzügliche Deckplatten und Façadenauskleidungen liefert. — Im Odenwald, Thüringerwald, Schwarzwald, in Sachsen, Südtirol (Umgebungen von Bozen) u. s. w., sowie in den Umgebungen von Lugano und an der Windgälle liegen allbekannte, ausgedehnte Vorkommnisse.

β. Die Liparite (Quarztrachyte) sind die entsprechenden jungvulkanischen Ergüsse, die auch heute noch von Vulkanen ausgegeben werden, z. B. auf den liparischen Inseln. Entsprechend dieser Jugend sind die neben spärlichen Quarzen vorkommenden Einsprenglinge des Kaliumfeldspathes (hier Sanidin genannt) frisch, farblos, glasigglänzend, ebenso die dunkeln Glimmerblättchen, während die weiss bis graue Grundmasse gern porösen Habitus zeigt (*Mühlsteinporphyr* Ungarns); sie kann aber auch als ruhig geflossenes, oft schwarzes Glas *(Obsidian),* in kugeliger Absonderung *(Perlstein, Perlit),* oder als schaumig aufgeblasene

Masse *(Bimsstein)* erscheinen. Dieser letztere bietet nicht bloss ein vielfach verwendetes Schleif-, Polir- und Putzmittel, sondern wegen seiner schlechten Wärmeleitung einen passenden Mauerstein für Trockenräume; durch sein geringes Eigengewicht und die gute Verbindung mit Mörtel eignet er sich als Gewölbestein. Die Stadt Lipari ist grösstenteils aus Bimsstein erbaut. Den afrikanischen Obsidian benützten die Römer zur Herstellung von Wandspiegeln, die alten Mexikaner zur Gewinnung scharfschneidiger Messer, zu Pfeil- und Lanzenspitzen; unsere Zeit verwendet ihn gern zu Trauerschmuck. Perlit und gewöhnlicher Liparit dienten in der Umgebung ihrer Fundorte (Sachsen, Ungarn, Venetien, Lipari, Mexiko) neben Pechstein als dauerhafte Bruchsteine, sowie als Material für Strassenpflasterung und Beschotterung. In Ungarn verfertigt man aus porösen Lipariten gute Mühlesteine.

γ. *Die gewöhnlichen* (quarzfreien) *Porphyre* und

δ. *Die Trachyte* gehen den beiden vorangehenden Gesteinsformen (α und β) in allen Stücken parallel; nur fehlt ihnen der Quarz; sie hängen mit den Syeniten und Syenitporphyren zusammen.

Die *alten Porphyre*, besonders in Thüringen, Sachsen, in Südtirol (Predazzo) und Südschweden entwickelt, haben eine graue, schmutzigweisse, auch grüne und braune Grundmasse und verwittern ausserordentlich leicht; in den Umgebungen von Halle und Altenburg ist beispielsweise das Gestein durch Kaolinbildung bis auf eine Tiefe von 70 m und mehr stark zersetzt; dort werden sie auf Kaolin abgebaut. Weil selten frisch, haben sie als Baumaterialien wenig Bedeutung.

Die *Trachyte* hingegen sind in dieser Richtung, dank ihres geringen geologischen Alters (trachytische Laven aller Art entstehen noch heute) wesentlich besser qualifiziert und reichlich verwendet. Von den Lipariten (Quarztrachyten) lassen sie sich oft nur schwer unterscheiden. Doch ist ihre rauh anzufühlende, meist poröse bis blasige Grundmasse von aschgrauer, auch dunkler, oder gelblich bis rötlicher Farbe; sie löst sich unter dem Mikroskop in zahllose säulen- bis fadenförmige, oft stromweise oder büschelförmig angeordnete Feldspäthe auf, die in ein mehr oder weniger reichliches, farbloses bis grünbraunes Gesteinsglas ein-

gebettet sind. Als Einsprenglingsfeldspäthe sieht man glasigrissige Sanidine, manchmal von bedeutenden Dimensionen, neben dunklen Glimmerblättchen und schwarzbraunen Hornblende- oder Augitsäulchen, die alle oft von kleinen Magnetiten umrandet sind. Auch der Trachyt kann oberflächlich durch rasche Abkühlung als Pechstein, Perlit, Obsidian oder Bimsstein entwickelt sein. — Trachytkuppen und -Ströme haben sich im Siebengebirge, Westerwald, in Ungarn, Oberitalien (Euganeen), auf Ischia, in Centralfrankreich in grosser Zahl gebildet und geben jetzt vielfach Anlass zu ausgedehntem Steinbruchbetrieb. Denn frischer Trachyt ist ein vorzügliches Baumaterial, das sich mit Mörtel gut bindet; auch zu Treppenstufen und zu Pflästerungen ist er in anbetracht seiner Rauhheit empfehlenswert. Doch ist bei diesem Gestein durchaus auf absolute Frische abzustellen und nicht ausser acht zu lassen, dass sowohl die Einsprenglings- als Grundmassenfeldspathe in der Natur sehr oft schon der Kaolinisierung anheimgefallen sind, in welchem Falle die Trachyte weich und als Bausteine vollständig wertlos werden.

ε. *Porphyrite* und

ζ. *Andesite* sind den vorigen (γ und δ) gleichende und entsprechende Gesteine, die von den Dioriten und Dioritporphyriten sich ableiten und Einsprenglinge zeigen von Plagioklasfeldspäthen, zuweilen neben Quarz (Quarzporphyrit, Quarzandesit oder Dacit). Bezüglich Beschaffenheit der Grundmasse und Verwitterungsvorgänge gilt ungefähr das soeben Mitgeteilte, letzteres in etwas verstärkter Weise. — Porphyrite liegen in der Natur vielfach neben Porphyren; berühmt durch seine Schönheit (dunkel- bis hellrote Grundmasse mit weissen bis rosenroten Oligoklaseinsprenglingen und dunkeln Hornblendenadeln) ist der *Porfido rosso antico* von Dschebel Dokhan in Ober-Ägypten, der in Rom, Mailand und Venedig in kirchlichen Prachtbauten Verwendung fand. — Bezüglich der Andesite des Siebengebirges und Westerwaldes, sowie der Dacite Siebenbürgens kann auf die dortigen Trachyte verwiesen werden.

η. *Die Melaphyre* hängen mit gewissen Diabasen zusammen und erscheinen als schwarze bis grünlich braune (auch rote) meist ganz dichte Gesteine, in welchen man von blossem Auge die entsprechenden charakteristischen Einsprenglinge des

basischen, leicht zersetzbaren Plagioklases nebst Augit und Olivin sehr oft nicht erkennen kann, entweder, weil sie nur sehr spärlich vorhanden oder schon stark verwittert sind. Das Mikroskop enthüllt dann fast immer noch ihre Gegenwart und zeigt des ferneren, dass auch die Grundmasse gewöhnlich aus kleinsten Individuen derselben Gemengteile besteht, die meist etwas strahlig angeordnet, in wechselnden Mengen eines bräunlichgrünen, leicht zerstörbaren Gesteinsglases liegen. Reichlich vorhandener Magnetit hat an der dunklen Gesteinsfarbe wesentlichen Anteil. Infolge einer mehr oder weniger weit vorgeschrittenen Verwitterung riechen sie gern nach Thon, brausen mit Säure auf und lassen sich mit dem Messer ritzen. Oft enthalten sie grosse Hohlräume, die nachträglich sich mit Quarz (Jaspis, Amethyst, Achat), Kalkspath oder wasserhaltigen Silikaten ausgefüllt haben; an solche *Melaphyrmandelsteine* hefteten sich die Achatschleifereien des Nahethales (Oberstein) und schlesischen Riesengebirges.

Die mächtigen Lager, Decken und Ströme des Melaphyrs, zuweilen schön in Bänke und Säulen abgesondert, sind von hohem geologischem Alter und weit verbreitet im Harze, Thüringerwald, Odenwald, in der Nahegegend, Pfalz, im Kanton Glarus (Kärpfstockgebiet), in Sachsen, Böhmen, Südtirol, Frankreich, England, Norwegen. Die Druckfestigkeit frischen Gesteins würde eine sehr bedeutende sein; allein die gewöhnliche Unfrische (wegen hohen Alters) und die leichte Zersetzbarkeit seiner Hauptgemengteile rauben ihm die Wetterbeständigkeit. Die Anwendung im Hochbau (Elsass, Harz) ist daher eine bescheidene; auch für Strassenpflästerung und Beschotterung (Paris) wendet man sich mehrerenorts wieder ab von ihm.

ϑ. Die Basalte repräsentieren nahezu dieselbe Gesteinsmasse bei geringem geologischem Alter; sie ergiessen sich als basaltische Lava auch in der Gegenwart noch (Aetna). Die Gesteinsfarbe ist des reichlichen Magnetites wegen fast immer schwarz, besonders bei dichten und feinkörnigen Varietäten von flachmuscheligem Bruch; grobkörniger Basalt führt den Namen *Dolerit*. Die charakteristischen Einsprenglinge und feineren Gemengteile sind im allgemeinen dieselben wie die der Melaphyre. Einerseits aber zeigen sie meist noch eine jugendliche Frische und anderseits ist, wie man unter dem Mikroskope sieht, die Struktur der Grundmasse, die vorwiegend aus Augit besteht, eine andere und

sehr wechselvolle. Statt des Feldspathes kann auch Nephelin ($CaNaAlSiO_4$), Leucit ($KAlSi_2O_6$), Melilith ($Ca_6Al_2Si_5O_{19}$), neben Augit, Hornblende oder dunklem Glimmer auftreten, was zur petrographischen Unterscheidung von *Feldspath-, Nephelin-, Leucit-, Melilith-, Hornblende-* und *Glimmerbasalten* geführt hat. Poröse Basalte werden, wenn ihre Blasenräume sich nachträglich mit Krystallen von Aragonit oder Kalkspath ($CaCO_3$) oder Zeolithen (wasserhaltige Al- Ca- Na-Silikate) angefüllt haben, wieder als *Basaltmandelsteine* bezeichnet. Die Verwitterung des Basaltes führt das an sich harte Gestein durch die thonigriechende, weichere *Basaltwacke* zum eigentlichen basaltischen Thon oder *Wackenthon.*

Allgemein bekannt ist die auffallende Neigung der Basalte, sich in fünf- und sechsseitigen, leicht quer zu gliedernden Säulen, in Platten oder Kugeln abzusondern, was seine mannigfache Verwendung in äusserst bequemer Weise vorbereitet. Obgleich er ein guter Wärmeleiter ist und daher durch Feuchtigkeitsabsatz zu nassen Mauern Veranlassung giebt, wird er doch auch im Hochbau als Baustein benutzt. Insbesondere hochgeschätzt und vielfach verwendet ist er als Strassenmaterial für Pflästerung und Chaussierung, (wegen seiner Härte und Zähigkeit, und da das Regenwasser in den Gesteinsporen rasch verschwindet), ferner zu Erstellung von Radabweisern, Meilensteinen; im Wasserbau dient er zum Bau von Brücken, Schleusen, Wehren, Quaimauern, endlich auch im Festungsbau zu Mauerwerk aller Art. Die Anwendung in poliertem Zustande für dekorative Arbeiten hingegen bewegt sich heutzutage nur in bescheidenen Rahmen, nicht so im Altertum. Basalt ist in mitteldeutschen Gebirgen, in Böhmen, Italien, Frankreich, England, in Amerika, Afrika und Asien in zahllosen isolierten Kuppen, in Strömen und Decken (Trapp) verbreitet, wie kein zweites jungvulkanisches Gestein.

c. Die Phonolithe sind in ihrer dichten, schwach fettglänzenden Grundmasse ein dunkelgrüngraues bis bräunliches oder schwärzliches Gestein, das flachmuschelig scharfkantig bricht und neben glänzendweissen Sanidintafeln auch kleine, farblose, sechsseitige Nephelinsäulchen oder rundliche graue Leucitkrystalle eingesprengt enthält, in einzelnen Formen auch isometrische Hauyne oder Noseane ($CaNa_2Al_3Si_3O_{12} \cdot SO_4Na$). Gelbbraune und grüne Augite erscheinen stets sowohl als Einsprenglinge

Übersicht über die Silikatgesteine mit massiger Textur.

(Massige Gesteine oder Erstarrungsgesteine.)

(Plutonische und vulkanische Gesteine.)

amorph	Vulkanische Gläser: Pechsteine, Perlite, Obsidiane, Bimssteine							**oberflächlich**	
hemikrystallin-porphyrisch	Liparite (Quarztrachyte)	Trachyte	Phonolithe	(Quarz-) Andesite	Basalte	Tephrite Basanite		jung	**Erguss-gesteine** (Decken, Ströme, Kuppen)
(dichte Grundmasse und Einsprenglinge)	Quarzporphyre	Porphyre		(Quarz-) Porphyrite Labrador-Augit-	Melaphyre Porphyrite			alt	
holokrystallin-porphyrisch (körn. Grundm. u. Einsprengl.)	Granitporphyre	Syenitporphyre		(Quarz-) Dioritporphyrite	(Olivin-) Diabase			**Lager- und Ganggesteine**	
granitisch	Granite	Syenite		(Quarz-) Diorite	(Olivin-) Gabbro		(Peridotit-) Serpentine	**Tiefengesteine** (Stöcke, Kerne)	
Struktur	mit Quarz	ohne Quarz	mit Nephelin, Leucit, Hauyn	mit oder ohne Quarz	mit oder ohne Olivin			**Geologisches Auftreten**	
	mit Glimmer, Hornblende oder Augit			mit Hornblende, Glimmer, Augit	mit Diallag oder Augit	mit Glimmer, Hornblende, Augit			
	Orthoklasgesteine			Plagioklasgesteine		m. Neph., Leuc. Hauyn	Feldspathfreie Gesteine		

wie auch neben langgestreckten Sanidinen und Gesteinsglas in der erst mikroskopisch auflösbaren Grundmasse. Der in goldgelben Adern oder in Hohlräumen auftretende nadelige Natrolith ($Na_2Al_2Si_3O_{10} \cdot 2H_2O$) ist ein charakteristisches, nachträglich entstandenes Begleitmineral. Im böhmischen Mittelgebirge, in der Lausitz, Eifel, Rhön, Wetterau, im Höhgau (Hohentwiel, Hohenkrähen, Staufen, Mägdeberg), sowie in Centralfrankreich vielfach vorkommende glockenförmige Phonolithkuppen zeigen gerne plattige Absonderung und können sogar dünnschiefrig werden, so dass sie sich zu Dachdeckplatten spalten lassen.

Er ist sehr fest und gilt auch als wetterbeständig; mehrere alte böhmische Schlösser sind aus ihm erbaut; besonders gerühmt wird er als Material zum Strassenbau. Die natrolithführenden Phonolithe des Hohentwiel sind in poliertem Zustande in königlichen Bauten Württembergs auch dekorativ verwendet.

z. *Tephrite* unterscheiden sich von den Phonolithen blos durch den Gehalt an gestreiftem Plagioklas statt Sanidin; führen sie überdies noch Olivin als Einsprengling oder auch in der Grundmasse, so nennt man sie *Basanite*. Die Laven des Vesuvs sind ganz moderne Formen dieser Gesteine, die auch im übrigen Süd- und Mittelitalien, sowie im Kaiserstuhlgebirge und in der Eifel vorkommen. In Italien verwendet man sie, z. B. in Neapel, zum Hochbau und zur Strassenbepflasterung; die Eifelervorkommnisse (s. Niedermendig, Cottenheim, Mayen) des Tephrites wurden in auffallend ausgedehnter Weise ausserdem zum Brückenbau, zu Quai- und Hafenbauten verwendet. Bekannt ist ferner die schlackig-poröse Mühlsteinlava von Niedermendig.

Die hier aufgeführten, massigen Gesteine sind auf vorstehender Seite in einer einfachen Bestimmungstabelle übersichtlich zusammengestellt.

B. Krystallinische Schiefergesteine oder Silikatgesteine mit schieferiger Textur

(Gneiss, Glimmerschiefer, Urthonschiefer, Quarzitschiefer, Granulit, Eklogit).

Die schiefrige Textur dieser Gesteinsformen rührt in der Regel von einer annähernd parallelen Lage ihrer blätterigen Gemengteile (Glimmer, Chlorit, Talk) her, die ihre grösste Fläche

senkrecht gestellt haben zu der Richtung grösster Pression, der die Gesteine während der Ausbildung ihrer heutigen Gestalt ausgesetzt waren. Dabei nehmen sie ihr Material bald aus ursprünglichen Erstarrungsgesteinen, bald aus früheren Sedimenten, mit welchen beiden sie sich nach ihrer Zusammensetzung und ihrem Bau wieder durch vielfache Übergänge verknüpfen. Die ältesten Formen sind frei von Versteinerungen; jüngere Formen gehen unvermerkt in fossilienführende Sedimente über oder sind solchen zwischengelagert.

Sie haben in der Erdrinde über das ganze Erdenrund eine ausserordentliche Verbreitung und zeigen dabei trotz des mannigfachen Wechsels im kleinen eine auffallende Uniformität im allgemeinen Habitus.

Der schieferige Bau lässt für sie als Baumaterialien eine nur beschränkte Verwendung zu. Derselbe leistet überdies in den meisten Fällen durch das erleichterte Eindringen von Wasser sowohl der physikalischen Desaggregation (Abblätterung), als auch der chemischen Zersetzung (Verwitterung) günstigen Vorschub. Um Bau und Gemengteile richtig zu erkennen, ist es notwendig, die hierher gehörenden Gesteinsformen nicht bloss auf der Schieferungsfläche (Hauptbruch), sondern auch auf zwei senkrecht dazu gestellten, untereinander wieder normalen Flächen (Quer- und Längsbruch) ins Auge zu fassen.

a. Der Gneiss zeigt dieselben Gemengteile wie ein Granit, also Quarz und Orthoklas, daneben hellen Muscovit- oder dunklen Biotitglimmer, oder Hornblende, woraus sich auf dem Hauptbruch einige petrographisch naheliegende Varietäten unterscheiden lassen. Quarz (farblos glas- bis fettglänzend) und Feldspath (weiss, gelblich, matt oder perlmutterglänzend) müssen mehr durch Farbe und Glanz, als durch ihre Formen unterschieden werden; sie bilden zusammen, wie auf dem Quer- und Längsbruch zu sehen ist, mehr oder weniger rundlich oder flach geformte Linsen, zwischen denen der blätterige Gemengteil sich durchwindet. Dies ist besonders beim *Flasergneiss* der Fall. Texturell spricht man ferner von *Augengneiss* (Quarzfeldspathlinsen ungewöhnlich gross), *Stengel- oder Streifengneiss* (Linsen und Blätter in die Länge ausgereckt), *Lagen- oder Bändergneiss* (glimmerreiche und glimmerarme Partien liegen im Wechsel übereinander).

Weitere Unterscheidungen werden gemacht beim reichlichen Hinzutreten eines besonderen Gemengteiles *(Chloritgneiss, Talkgneiss, Sericitgneiss* [Sericit ist feinschuppiger, seidenglänzender Kaliumglimmer], *Graphitgneiss, Granatgneiss),* oder infolge der geologischen Lagerung *alter* oder *Urgneiss* und *junger Gneiss.*

Gneiss gehört zu den am weitesten verbreiteten Gesteinen der Erde; er bildet die tiefste aller bekannten Ablagerungen, ist somit das älteste Gestein und hat oft eine Mächtigkeit von mehreren tausend Metern; in den Hochgebirgen erscheint er in wildzackigen, scharfen Kämmen und Spitzen, in den niedrigeren Gebirgen in sanft welligen Bergformen, endlich auch in weit ausgedehnten flachen Platten. In Finnland, Skandinavien, den deutschen Mittelgebirgen, in den centralen Partien der Alpen und Karpaten, in der Bretagne und Normandie, in Schottland, Vorderindien, Brasilien etc. liegen grosse Gneissgebiete.

Quarzreicher normaler Gneiss ist so dauerhaft, zäh und fest wie Granit und leichter als dieser zu spalten und zu bearbeiten; er liefert daher bekanntlich vorzügliche Quader- und Bruchsteine für Grundbauten und Rauhmauerwerk; für Trottoirrandsteine, Treppenstufen, Portale, Säulen, Wehrsteine, Marksteine etc. erfreut er sich grosser Anerkennung (Tessinergneisse von Osogna, Odenwald- und Schwarzwaldgneisse). Dem Strassenbau bietet er ein gutes Unterbau- und Beschotterungs-, dagegen im allgemeinen weniger empfehlenswertes Pflasterungsmaterial. Dünnplattiger Gneiss wird verwendet zu Dach- und Mauereindeckungen. Feiner geschieferte, glimmerreiche Gneisse sind aber leicht weniger dauerhaft und deshalb nur unter Umständen und mit Vorsicht zu verwenden, weil sie bei bestimmter Lagerung unter dem Einflusse der Feuchtigkeit und Kälte allzu leicht aufblättern und zerfallen. Das leidige Rostfleckigwerden von Gneissen wird auch hier durch den oft ganz unvermittelten und leicht zu übersehenden Gehalt an accessorischem Pyrit allmälig erzeugt.

β. Die Glimmerschiefer sind ein schiefriges Gemenge von Quarz und Glimmer, wobei heller *Muscovitglimmerschiefer* oder dunkler *Biotitglimmerschiefer* unterschieden werden kann, denen sich die *Hornblendeschiefer, Chloritschiefer, Talkschiefer, Sericitschiefer, Graphitschiefer* entsprechend angliedern. Von den genetisch verwandten bezüglichen Gneissen differieren sie bloss durch den Minder- bis Nichtgehalt von Feldspath; auch das

blätterige Mineral kann ihnen soweit abhanden kommen, dass man von *Glimmerquarzit* bis *Quarzit* sprechen darf. — Wie die Gneisse, so enthalten auch die Glimmerschiefer zahlreiche accessorische Mineralien, unter denen Granat, Disthen, Turmalin, Staurolith, Magnetit, Pyrit, Eisenglanz, Kalkspath besonders hervorzuheben sind; letztere zwei führen durch Überhandnehmen zu *Eisenglimmerschiefer* und *Kalkglimmerschiefer*.

Texturell bilden sich hier die harten (auf dem Quer- und Längsbruch zu sehenden) Linsen bloss aus Quarz; auf dem Hauptbruch erscheint allein der blätterige, perlmutter- bis seiden- oder fettglänzende zweite Gemengteil mit seiner entsprechenden individuellen Färbung.

Die Glimmerschiefer und ihre Abarten sind wohl ebenso verbreitet, aber viel weniger mächtig entwickelt, als die zugehörigen Gneisse, denen sie sich entweder unmittelbar über- oder zwischenlagern; es giebt auch geologisch älteste oder *Urglimmerschiefer* und jüngere Glimmerschiefer, mit denselben Vorkommnissen, wie die Gneisse sie bieten.

Quarzreiche Glimmerschiefer sind sehr hart, zähe und fest und können infolge ihrer oft sehr ausgeprägten Haltbarkeit leicht zu Fussboden-, Trottoir- und Dachdeckplatten gefertigt werden; berühmt als Dachschiefer ist der Chloritschiefer von Rimogne in den Ardennen. Die Feuerbeständigkeit der Glimmer- und Talkschiefer empfiehlt sie für Gestellsteine an Hochöfen und zur Herstellung gewöhnlicher Öfen (Lavez- oder Ofenstein von Uri und Bünden). — Nester von Pyrit oder durchgängig fein verteilter leicht verwitternder Eisenkies beeinträchtigen zuweilen in sehr unbequemer Weise die Anwendbarkeit oder Haltbarkeit aller dieser Schiefer mehr oder weniger.

γ. *Die Urthonschiefer oder Phyllite* entwickeln sich allmälig aus den vorigen und gehen nach oben in petrefaktenführende Thonschiefer über. Sie sind stets ausgezeichnet blätterig-schiefrig, von feinstem Korn bis so dicht, dass von blossem Auge kein Bestandteil mehr erkannt werden kann. Meist riechen sie nach Thon und zeigen bei wechselnder, dunkelgrauer, blauschwarzer, grünlicher, violetter oder roter Färbung Perlmutter- bis Seidenglanz, welch letzterer besonders den *Sericitphyllit* charakterisiert, der den Übergang vom Sericitschiefer zum eigentlichen Thon-

schiefer der ältesten Sedimentformationen bildet, so allmälig, dass die Grenze namentlich gegen die letzteren hin sich meist ganz verwischt. Sie sind vereinzelt auch in jüngeren bis jüngsten Abteilungen der Erdrinde zu finden (Glarnerschiefer des Sernfthales). Hieher gehört neben dem äusserst feinkörnigen und harten, grüngrauen bis gelben *Wetzschiefer* der Ardennen (Vieil Salm) und dem zwei (unter einem schiefen Winkel sich schneidende) Schieferungsebenen aufweisenden, weichen *Griffelschiefer* (Elm) die Mehrzahl der eigentlichen *Tafelschiefer* und *Dachschiefer* mit Schieferungsdicken von 30 bis herab zu 4 und 3 mm, deren Gewinnung und Formatisierung in einer ganzen Reihe von Ländern einem grossartigen Steinbruchbetrieb gerufen hat.

England liefert in Nord-Wales Deckschiefer 1. Qualität in den Brüchen von Pourhyn, Dinorwic und Portmadoc (Palmerston und Oakeleygruben) mit langfaserigem Bau und 3—4 mm Dicke in blauer, blaugrauer, roter und grüner Farbe, deren Schieferdächer hundert und mehr Jahre ausdauern; sie gehen mit billiger Wasserfracht nach Norddeutschland, Frankreich, Italien und verteilen sich über den ganzen Kontinent.

Frankreich baut insbesondere in den Ardennen beste bis gute Schiefer billig und ergiebig ab: rote bei Fumay (St. Anne), grüne und blaue in Rimogne, grüne bei Deville an der Maas, blaue in Angers an der Loire.

Belgische Schiefer werden produziert in guten Sorten bei Herbeumont und Warmifontaine.

Luxemburger Schiefer gehen von Martelange, Perlé etc. zuweilen als »Obermoselschiefer« in den Handel. Doch können diese beiden Länder in Qualität und Quantität der Produktion vielfach nicht konkurrieren mit deutschen Produktionsgebieten. Hervorzuheben sind:

Die vorzüglichen rheinischen Schiefer von Caub (5—6 mm dick, blau, gelegentlich braun, gelblich, rostfleckig).

Thüringische Schiefer aus den grossen Brüchen von Lehesten, Unterloquitz und Gräfenthal (schön blau, 8 mm stark, dauerhaft, auch schwärzlich und dann weniger gut).

Moselschiefer von Clotten, Mayen, Müllenbach, Thomm, Trier, schön gleichmässig dunkelblau und haltbar (über 100 Jahre!) sowie endlich die Hunsrücker-, westfälischen, Lahn- und Harzerschiefer, welche eine vorwiegend örtliche Bedeutung haben.

Österreich baut in Mähren (Herzogswald, Friedland, Morawetz, Waltersdorf) und Niederösterreich (Reichenau) graublaue, beziehungsweise grüne Schiefer ab, deren gute Beschaffenheit ihnen eine starke Verwendung sichert.

Für die Schweiz gilt das gleiche von den geologisch jungen Glarner Dach- und Tafelschiefern graublauer bis schwarzer Färbung, sowie von den alten, schwarzen Thonschiefern des Wallis (Salvan, Outre Rhône).

Ein guter Dachschiefer ist qualifiziert durch einen hohen Gehalt von Kieselsäure (56—57 %) und Thonerde (20—22 %); er soll nur sehr wenig (unter 1 %) kohlensauren Kalk (der nicht säurebeständig ist), wenig kohlige Substanzen (also keine schwarze Farbe!), keinen Kupfer- oder Eisenkies enthalten, welch letztere durch ihre Verwitterung nicht bloss Rostflecken, sondern schliesslich den völligen Zerfall der Schiefer herbeiführen. Er soll unter dem Hammer hell klingen, sonst ist er rissig. Eine genaue chemische und sagen wir auch petrographische Untersuchung, längeres Einsenken in Wasser oder Aufstellen in Dämpfen von Schwefelsäure (Fresenius'sche Probe!) dienen einstweilen zur amtlichen Beurteilung der Qualitäten von zu prüfenden Schiefersorten.

ϑ. Reiner Quarz, Quarzitfels, Quarzitschiefer dürfte als »gewachsener Fels« (nicht zu verwechseln mit Sandstein!) nur in unbedeutender Weise baulich verwendet werden. In Montmorency bei Meudon (Frankreich) liegt zwischen Thon und Kalkstein ein höchst feinkörniges bis dichtes Quarzgestein, das aus Süsswasser sich ausgeschieden hat und ein gutes Material für Mühlsteine liefert (Mühlsteinquarz von La Ferté sous Jouarre, Departement de la Seine).

ι. Granulit ist ein mittelfeinkörniges, schiefriges oder geschichtetes Gemenge von weissem bis hellrotem Orthoklas und Quarz, in welches gerne rote Granate und farblose bis blaue Cyanite (SiO_5Al_2) eingestreut sind. Er liegt namentlich in Sachsen, auch in Böhmen, Mähren, in Norwegen zwischen krystallinischen Schiefern und wird dort zur Herstellung von Trottoirplatten, Treppenstufen, Tischplatten verwendet, sowie zur Unterbettung von Chausseen. Er verwittert leicht und zerfällt dadurch in Grus und Sand.

x. *Eklogit* ist ebenfalls den Schiefergesteinen zwischengelagert als ein grob- bis feinkörniges Gemenge von grasgrünem Smaragdit (Hornblende) und rotem Granat, zuweilen noch neben blauem Cyanit. — Diese selten schöne Mineralkombination nimmt, wenn auch schwer, eine vorzügliche Politur an, ist aber zähe, schwierig zu behauen und nur in kleineren Blöcken zu gewinnen. Einzelne Vorkommnisse im Fichtelgebirge (Eppenreuth und Döhlauber Hof) in Kärnten (Saualpe) etc. werden zu Bildhauerarbeiten verwendet oder in pulverisiertem Zustande als Schleifmaterial benutzt.

2. Kalkgesteine.

Sie nehmen nach den Silikatgesteinen den hervorragendsten Anteil an der Zusammensetzung der Erdrinde und gliedern sich chemisch in die beiden Substanzen:

A. Kohlensaurer Kalk ($CaCO_3$), Marmore, dichte Kalke, Sinterkalke, Dolomit, Ophicalcit, leicht kenntlich an ihrem Aufbrausen in Säuren, und

B. Schwefelsaurer Kalk ($CaSO_4$), Anhydrit, Gyps, Alabaster.

Die Gruppe A birgt fast immer auch noch zwei andere Karbonate ($MgCO_3$ und $FeCO_3$) in niedrigen oder höheren Prozenten, sowie mehrfache Beimengungen: Kohle, Kieselsäure, Thon, Eisenoxyde, Glimmer etc., wodurch bezüglich Färbung und Härte (im allgemeinen 3) reicher Wechsel entsteht. Der Struktur nach, die abermals verschiedenen Entstehungsarten entspricht, können sie in krystallinisch körnige, dichte und poröse unterschieden werden. Sie alle spielen bei genügender Härte, Festigkeit und Dauerkaftigkeit als Baumaterialien, manche auch in der dekorativen Architektur oder in der Bildhauerei eine wichtige Rolle. Die Gruppe B ist in den Formen des Gypses und Alabasters gekennzeichnet durch einen Gehalt an Wasser und dem entsprechend durch ein niedriges specifisches Gewicht (2,3) und geringe Härte (1,5—2), während Anhydrit wasserfrei und darum schwerer (2,9) und härter (3—3,5) ist. Bei Behandlung mit Säuren tritt kein Aufbrausen ein. Da sämtliche Repräsentanten etwas wasserlöslich sind, dürfen sie nur zur Innendekoration verwendet werden.

A. Kohlensaure Kalkgesteine.

a) Krystallinisch-körnige Kalke: Marmore.

Als »Marmore« betitelt man in der Mineralogie und Petrographie jenen kohlensauren Kalk, der durch Metamorphose eine mehr oder weniger durchgreifende krystallinisch-körnige Struktur angenommen hat. Dieser Begriff deckt sich nicht mit demjenigen des technischen und alltäglichen Sprachgebrauches, welcher mit Marmor ziemlich allgemein *jeden Kalkstein* (ursprünglich sogar jeden Stein dichten Gefüges) betitelt, der durch Polieren schönen Glanz annimmt, also auch viele jener Kalke, die der Mineraloge wegen ihres mikroskopisch kleinen Kornes als dichte (gewöhnliche) Kalke bezeichnet. Der Umstand freilich, dass zwischen den morphologischen Begriffen »dicht« und »krystallinisch-körnig« eine scharfe Grenze nicht besteht, bringt es mit sich, dass für die Anwendung des wissenschaftlichen Begriffes Marmor durch die Übergangsformen etwelche Unsicherheit geschaffen wird.

Ein Marmor (im petrographischen Sinne) ist kein ursprüngliches, sondern ein metamorphes Gestein, aus einem gewöhnlichen kohlensauren Kalk durch »Umkrystallisieren« entstanden. Die äussere Ursache hiezu lag entweder in der Berührung oder Nachbarschaft mit eruptiven Massen (Kontaktmetamorphose) oder in der Einwirkung enormer und lang andauernder Pressionen, erzeugt durch überlastende Gebirgsmassen und gebirgsfaltende Kräfte (Regional- und Dynamometamorphose). Je vollständiger die Umkrystallisation unter Mithülfe von Kohlensäure und Wasser vor sich gehen konnte, um so reiner ist die körnige Struktur des Marmors ausgebildet, um so grösser ist im allgemeinen auch sein Korn, dessen Durchmesser schwankt zwischen 0,03 und 5 mm. Bei nicht völlig abgeschlossener Metamorphose drängen sich zwischen die neu entstandenen Krystallkörner mehr oder weniger grosse Mengen des ursprünglichen Karbonates. Verunreinigende Beimengungen des letzteren haben sich gleichzeitig umgestaltet zu Graphit, Magnetit, Eisenglanz, Quarz, Glimmermineralien, Talk, Hornblenden, Augiten, Granaten, die gelegentlich im Marmor eingeschlossen sind.

Umfassende wissenschaftliche Untersuchungen, besonders durch Professor *Vogt* in Christiania, haben ergeben, dass fast der

ganze krystallinische Marmor des Handels durch Regional- resp. Dynamometamorphose entstanden ist und nur ein ganz kleiner Teil auf die Kontaktmetamorphose zurückgeführt werden kann, z. B. derjenige von Auerbach im Odenwald, von Predazzo und vom Adamellogebiet in Südtyrol, Vaskö in Südungarn, Gjellebäk bei Christiania. *)

Diese beiden genetisch verschiedenen Marmorarten lassen sich mikroskopisch durch die Struktur unterscheiden. Der Kontaktmarmor kennzeichnet sich gewöhnlich durch verhältnismässig ebene, gradlinige Kontouren der (rhomboëdr.) Kalkspathindividuen aus, während der regionalmetamorphe Marmor keine Andeutung zu krystalliner Begrenzung der Individuen wahrnehmen, dieselben vielmehr sich gegenseitig zickzackförmig abgrenzen, ineinander greifen und ineinander verwachsen lässt. Von diesem Verbande der einzelnen Individuen hängen auch manche Eigenschaften der beiden Marmorsorten ab. Kontaktmarmor ist wegen des nur schwachen Ineinandergreifens der Körner gewöhnlich von lockerer Natur, weshalb die meisten Brüche auf solchen Marmor, wenigstens für Bauzwecke, aufgelassen sind.

Regionalmetamorphe Marmore hingegen zeigen infolge ihrer Struktur eine grosse Kornfestigkeit, selbst bei sehr grobem Korn, wie die grosse Zahl von Untersuchungen über Druckfestigkeit der Marmore ergeben hat. — Von hervorragender Bedeutung ist die Lichtdurchlässigkeit der Marmore, die naturgemäss um so grösser ist, je vollständiger der Prozess der Umkrystallisation sich abgespielt hat; hängt doch davon hauptsächlich die bildhauerische Wirkung des Gesteins ab! Der parische Marmor (Lychnites) ist in dieser Richtung besonders ausgezeichnet, carrarischer (selbst primo statuario) und noch mehr pentelischer Marmor stehen ihm hierin nach; geringere Sorten sind wenig oder gar nicht durchscheinend. Die Farbe der Marmore basiert auf ihrer chemischen Zusammensetzung; je reiner diese, um so reiner weiss erscheint das Gestein. Der schwach gelblichgrüne Ton, den manche edle Qualitäten im durchscheinenden Lichte besitzen, ist einem geringen Eisen-

*) An einzelnen nordischen Marmorarten hat *Vogt* beide Arten der Metamorphose, als nacheinander eingetreten, zu erkennen vermocht.

gehalte zuzuschreiben, der es überdies mit sich bringt, dass die vornehmsten antiken Marmore auf der Oberfläche oder auf Klüften durch Oxydation des Eisens eine »goldbraune« Haut (Patina) entwickeln, was man auch von den besten modernen Qualitäten verlangt. Die Eisenfärbung der Marmore geht zuweilen in ein deutlicheres wärmeres Gelb (crême, carnicino) über; graue und graublaue Töne hängen wohl immer mit eingeschlossenen organischen Substanzen zusammen; solche Marmore entwickeln beim Zerschlagen bituminöse Gerüche. Sie können im Laufe der Jahre im Lichte allmälig abblassen; auch verliert sich die Farbe schon bei einer Hitze von 100°. Düstere Färbungen werden erzeugt durch beigemengte Kohle (Graphitoid), rote durch starken Eisenoxydgehalt, grüne durch Chromoxyd oder chromhaltige Mineralien; bei rosenroten und orangegelben Marmoren ist die Ursache der Färbung noch nicht genügend aufgeklärt.

Das Vorkommen der Marmore ist an keine geologische Formation gebunden; Kontaktmarmore konnten seit ältesten Zeiten entstehen; die regionalmetamorphen werden gegen die älteren Formationen hin eher zunehmen, die am vollständigsten metamorphosierten haben wir in den ältesten Schichten der Erdrinde, zwischen den Gneissen und Glimmerschiefern des krystallinen Grundgebirges zu suchen. Die Dynamometamorphose kann alte und junge Marmore in derselben Weise erfasst haben.

Im Nachfolgenden sind eine Anzahl der wichtigsten Marmorvorkommnisse, nach abnehmendem geologischem Alter und nach Länder geordnet, kurz zusammengestellt*).

1. Marmore des krystallinen Grundgebirges zwischen Gneiss und Glimmerschiefer.

Griechenland: der *Marmor von Paros,* Lychnites oder Lampenstein (weil er in unterirdischen Höhlen beim Lampenschein gebrochen wurde), Marmo greco duro, ist in klotzig dicken Bänken mit undeutlicher Schichtung zwischen Gneiss eingelagert, zeigt mässige Korngrösse (1—5 mm Durchm.), schwach crêmegelbe Farbe und von allen Marmoren die stärkste Lichtdurchlässigkeit. Bevorzugtes und edelstes Material für alt-

*) Vgl. auch: H. Schmid, die modernen Marmore uud Alabaster, Leipzig 1897. B. Kosmann, die Marmorarten des deutschen Reiches, Berlin 1888.

griechische Kunstwerke. Die modernen Brüche haben bislang keine genügend grossen Blöcke zu liefern vermocht. — Das Gestein entwickelt beim Zerschlagen bituminösen Geruch. — Ähnlich die weissen Marmore von Naxos (Apollonia), sowie einzelne Vorkommnisse auf den Cykladen (Tinos, Syra, Skyros etc.).

Ober-Italien: Marmor von Candoglia und *Ornavasso* bei *Mergozzo,* weiss bis leicht rosa; grobkörnig, auch etwa lamellar. (Dome von Mailand und Pavia).

Schlesien (Sudeten): *Marmore von Gross-Kunzendorf, Saubsdorf, Kaltenstein,* rein weiss bis gegen grau, grob- bis feinkörnig.

Königreich Sachsen (Erzgebirge): *Marmore von Fürstenberg* und *Crottendorf,* ebenso.

Mähren: Marmore von Gross-Mohrau, gelblichweiss und feinkrystallinisch.

Bayern (Fichtelgebirge): *Marmore von Wunsiedel, Pullenreuth, Redwitz* etc., weiss bis grau, auch rosa, grob- bis feinkörnig.

Hessen (Odenwald): *Marmore von Auerbach a. d. Bergstrasse,* weiss bis bläulichgrau, grobkörnig, Kontaktmarmor.

Schweiz: Marmore von Torre im Val Blegno (Tessin), grauweiss, grobkrystallinisch. *Guraletschgrat bei Vals* (Graubünden), weiss, feinkörnig, mit weissen Glimmerschuppen; wird technisch nicht verwendet. Der *Marmor von Castione* bei Bellinzona (»Castionigranit«) wird architektonisch viel verwendet.

Norwegen: Marmore aus der Region des Polarkreises, von mehreren Orten in der Nähe der Küste, weiss, gräulich, gelb, grobkörnig (1897 2167 m^3 Ausbeute).

2. *Marmore von paläozoischem Alter* (der Silur-, Devon-, Karbonformation angehörend).

Griechenland: Pentelischer Marmor (marmo greco fino) und *hymettischer Marmor* (marmo imezio) liegen in mehreren mächtigen, geschichteten Horizonten zwischen jüngeren Gneissen und Glimmerschiefern, auch Thonschiefern, sedimentären Ursprungs; der erstere milchweiss bis schwachgelb, sehr feinkörnig, wenig durchscheinend, wegen des Eisengehaltes eine goldbraune Patina zeigend, oft auch Glimmer einschliessend, das hervorragendste Material antiker und moderner griechischer Architektur; der letztere graublau, weiss gestreift, ähnlich verwendet, besonders von den Römern, aber doch weniger geschätzt.

Ober-Italien: Marmore von Crevola d'Ossola, zwischen feinem Muscovitgneiss, weiss bis graublau, feinkörnig (Arco della Pace, Mailand).

Tyrol: Marmore des Vintschgau's in den südlichen Seitentälern von *Laas, Göflan* und *Martell;* bei *Schlanders, Castelbell, Aschbach, Quadrathof* (Töll); eingelagert zwischen jüngeren Gneissen und Glimmerschiefern. Besonders hoch ob Laas liegt ein etwas grobkörniger Marmor von warmer, milchweisser bis crêmegelber Färbung; in den Brüchen der Jennwand wird ein feinkörniger Statuenmarmor gebrochen, der stark kantendurchscheinend ist und eine schöne Patina annimmt; er ist in grössten Blöcken zu haben (Denkmäler in Wien, Innsbruck, Bozen, Düsseldorf, Stuttgart etc.). Die geringere Qualität wird architektonisch verwendet. — Marmore des *Mareithertales,* das bei Sterzing ausmündet (»Sterzingermarmor«); bei *Ratschinges* und *Flading* liegen bis 30 m mächtige Marmorschichten, die weiter westlich ins Gebiet von Schneeberg (Maarerweissen, Karlweissen, Gürtelwand) sich fortsetzen. Sie sind zwischen jüngern, dunklen Glimmerschiefern und Gneissen eingelagert, die sehr wahrscheinlich postkarbonisch, (vielleicht triasisch oder jurassisch) sind. Der Marmor ist weiss bis bläulichgrau, grob- bis feinkörnig, von schimmerndem Glanze und kann in Blöcken von gewaltigen Dimensionen geliefert werden. Gegenwärtig wird er weniger mehr zu Statuen, als vielmehr für monumentale Architektur verwendet (Wien, Brixen, Sterzing). Alle diese Tyrolermarmore gelten als sehr fest und wetterbeständig.

Steiermark: Marmore von Kainach (weiss), *Köflach* (hellgrau), *Murau* (weiss bis blaugrau), *Salla* (hellgrau), mittel- bis feinkörnig, für architektonische Zwecke.

Kärnten: Marmore von Pörtschach (Römerbruch am Wörthersee) weisse, gelbliche, auch rosenrote, sehr harte und feinkörnige Arten. — *Marmore von Treffen* und *St. Veit,* ditto, aber grobkörnig; von *Grasthal,* bläulich, mittel bis feinkörnig und in Blöcken beliebiger Dimension zu gewinnen, alle für architektonische Zwecke verwendet; letzterer vielfach auch in monumentaler Richtung.

Belgien: Marmore von Merbes le Château, weiss, feinkörnig (Blanc clair und Blanc puissant), dekorativ verwendet.

3. Marmore der Triasformation.

Italien: Marmore von Carrara (das antike Luni, daher lunensischer Marmor) mit ca. 600, *Serravezza* mit 100 und *Massa* mit 180 Steinbrüchen, repräsentieren das wichtigste Marmorgebiet der ganzen Erde, auf welchem von ungefähr 10,000 Arbeitern jährlich 70,000 m^3 Marmor im Werte von 20—25 Millionen Franken gewonnen werden, in Höhen von 500—1000 ja 1500 m über Meer. Der Marmor ist deutlich, oft dünn, geschichtet, wechsellagernd mit grauen und schwarzen Kalken; das Gestein selbst ist gelegentlich parallel der Schichtung grau und graublau gebändert, farbig, gestreift. Die rein weissen schimmernden Blöcke besten Marmors kommen ganz beliebig eingeschaltet vor zwischen wenig glänzenden, milchweissen und hellgrauen Varietäten und auch das schönste Gestein kann gelegentlich von grauen Adern (marmo venato) durchzogen sein. Dieses ist im Korn etwas gröber, als der Marmor von Pentelikon, hingegen feiner als derjenige von Paros. Mikroskopisch beobachtet man in einer feinkörnigen Grundmasse Calcitkörner von 0,5 bis 1 mm Durchmesser mit deutlichen Spaltflächen. — »Statuario primo« und »secondo« gelten als das schönste Statuenmaterial der Gegenwart, sind feinkörnig, gelblichgrün durchscheinend, rein weiss, nicht sehr hart und daher leicht zu bearbeiten, auch für kleine Figuren und zarte Partien, sollen aber nur in geschützter Lage zur Anwendung kommen. Schon seit den Römerzeiten konnten sie in Blöcken bedeutender Dimensionen gewonnen werden, die auf den Grenzklüften eine braune Patina ansetzen; die ersten italienischen und deutschen Meister schufen aus ihnen ihre herrlichen Skulpturen. Wie alle andern Marmorsorten dieses Gebietes, so erhält auch der Statuario im Handel wieder seine besonderen Lokalnamen je nach den Steinbrüchen, aus denen er stammt. — Der »Bianco chiaro« (blanc clair) ebenfalls wieder in mehrere Qualitäten zerfallend, ist weiss, feinkörnig, auch mit leicht bläulichen Adern, nur schwach bis gar nicht mehr durchscheinend; der »Blanc Puissant« (Blanc P.) ist schneeweiss und dicht, undurchsichtig. Beide bieten ein prächtiges und häufig verwendetes architektonisches Material. — »Giallo venato«, besonders in Serravezza gefunden, ist ein gelblichweisser Marmor mit dunkleren Adern, noch für Skulpturen, mehr aber für Verkleidungen ver-

wendet. – »Bardiglio turchino« (bleu turquin) ist blaugrau bis himmelblau, bald einfarbig, bald weiss und dunkel geadert, (Bardiglio fiorito, bleu fleuri), feinkörnig, passend für dekorative Verwendung (Wandverkleidung), in welcher Richtung namentlich auch der »Paonazzo« von weisser Farbe, mit violetten und schwarzen Adern zu grosser Berühmtheit gelangt ist.

Tyrol: Predazzo-Marmor (Predazzit) ist ein weisser bis bläulicher, krystallinischer Kalk, der neben einem grauen, geaderten und hell gewölkten Kalk (Penkatit) gefunden wird, beide durch mehr oder weniger intensive Kontaktmetamorphose aus dichtem Triaskalk entstanden; sie finden bloss für gewöhnliche Marmorarbeiten Verwendung.

Schweiz: Marmor von Splügen, weiss, grau, gelblich, mittelkörnig, vielfach glimmerführend, verwendet wie der vorige. *Marmor von Saillon* (Wallis) siehe S. 39.

4. Marmore der Juraformation.

Siebenbürgen: Szarhegy-Marmor, rein weiss, mittelfein, bedeutend durchscheinend; vorzügliches Statuenmaterial, aber schwierig zu gewinnen und daher nur spärlich verwendet.

Ungarn: Ruskicza-Marmor, mittelfeinkörnig, weiss mit bläulichen Adern, in grossen Blöcken zu gewinnen und leicht zu bearbeiten; statt Carrara-Marmor in Ungarn, Mähren, Rumänien, auch in Deutschland verwendet in monumentaler Richtung. *Dognascko-Marmor,* grobkörnig, weiss, für gewöhnliche Marmorarbeiten in Gebrauch.

Schweiz: Marmor von Gadmen, weiss, auch grau, grob- bis feinkrystallinisch mit Sericitschuppen, wurde früher ausgebeutet. *Andermatter-Marmor* findet sich bei Altkirche in einzelnen dünnen Schichten als ein krystallinisch grobkörniges Gestein von weisser Farbe, daneben auch in grauen bis bläulichen Varietäten, mit Gehalt an silberweissem bis blassgrünem Sericit, etwas Quarz und Feldspath neben Graphit. Er ist nur zu gewöhnlichen Steinmetzarbeiten zu verwenden. *Untervazer-Marmor* erscheint als ein dunkelgraues, feinkrystallinisches Gestein mit weissen Streifen, die als umgewandelte Reste von Korallen gedeutet werden. Er wird zu Schmucksteinen verarbeitet, hauptsächlich aber als Baustein verwendet. *Marmor von Buccarischuna*

im Peterstal (Lugnez), weisser, grob- bis mittelkörniger Marmor mit graulichem Ton, einzelnen grünen Streifen von Chromglimmer (Fuchsit) und Tafeln von farblosem Muscovit, wurde bis vor wenigen Jahren ausgebeutet.

Frankreich: Blanc de Saint Beat, milchweiss bis leicht bläulich, grobkörnig und ziemlich durchscheinend; beim Zerschlagen bituminösen Geruch entwickelnd. Er wird in Frankreich vielfach verwendet statt Carrara, zu Statuen, Denkmälern, als Architekturmarmor; hält im Freien gut aus und ist wesentlich billiger als der genannte. *Turqin d'Ossan* und *Bleu d'Aspin* sind graublaue krystallinische Marmore mit weissen Muscheln, auch schön welliger, weisser und grauer Zeichnung.

5. Marmore der Kreideformation.

Griechenland: Ein Teil des *Marmors vom Pentelikon* gehört nach Lepsius hieher.

Frankreich: Bleu turquin de Corte, krystallinisch, blaugrau, besonders architektonisch verwendet.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass der Marmor infolge seiner Schönheit, Bildsamkeit und Politurfähigkeit von Alters her die Rolle des hervorragendsten Dekorationsmaterials gespielt hat; in der Gegenwart beziffert sich sein jährlicher Verbrauch auf 40—50 Millionen Franken; die Hälfte davon fällt Italien zu; aber bloss etwa 1 % und zwar vorwiegend Carrara, wird in der Bildhauerei verwendet. Von diesem Marmor verlangt man Gleichmässigkeit des Kornes und der Härte, Reinheit der Farbe, möglichste Lichtdurchlässigkeit, verbunden mit Glanz und Flimmer der Krystalle. — Je reiner solcher Marmor ist, um so schwerer ist er verwitterbar, wie die gute Erhaltung der Produkte antiker Kunst am besten beweist. Allerdings bezieht sich dieses Urteil auf ein Klima, wo weder starker Frost noch Nebel, noch die gefährlichen Schädlinge der Fabrikstadtatmosphäre ihren bösen Einfluss geltend machen konnten. Kohlensäure und Schwefelsäure nehmen auch dem besten Marmor sehr bald die Politur, machen ihn rauh, porös und rissig; nach und nach bedeckt er sich mit Russ und Staub; Pilze und Algen siedeln sich auf ihm an; häufige extreme Wechsel der Temperatur haben wiederholte Volumenänderungen im Gefolge, und die damit verbundene

innere Reibung zwischen den Krystallkörnern lockert den Kohäsionszusammenhang, die »Kornfestigkeit« des Gesteins. Luft und Wasser werden in vermehrter Weise aufgesaugt; aller Marmor ist ja schon ursprünglich etwas porös. Aus solchen Gründen sollte ein guter Marmor aus dem sonnigen Süden nie ungeschützt verwendet werden in einem Klima, das mit demjenigen seiner Heimat in schroffem Gegensatze steht. — Auf allen Fundstellen des Marmors ist aus gleichen Ursachen das Gestein in der Tiefe besser, als in der Nähe der Oberfläche; beim Bezug von Blöcken ist daher darauf zu halten, dass dieselben aus dem Innern des Marmorlagers gebrochen werden und vor der Lieferung genügend ausgetrocknet seien.

Die Marmore der verschiedenen Vorkommnisse sind im übrigen bezüglich Wetterbeständigkeit sehr ungleich zu taxieren und dürfen gemachte Erfahrungen von einer Marmorart nicht ohne weiteres auf andere übertragen werden. So beweisen die noch sehr wohl erhaltenen, freistehenden Statuen von Mozart, Grillparzer und Haydn in Wien, dass Laaser-Marmor wesentlich widerstandsfähiger ist, als der von Carrara; das gleiche wird von norwegischen und vom Gross-Kunzendorfer-Marmor geltend gemacht, wie überhaupt ein etwas grobkörniger regionalmetamorpher Marmor an der Luft grösseren Widerstand leistet, als der feinkörnige bis dichte, da der letztere eine grössere Angriffsfläche darbietet. Graue oder anders gefärbte Marmore werden bei Benutzung im Freien nach einigen Jahren, wenn die Politur sich verliert, blind und matt.

b) Dichte Kalke: Bunte „Marmore".

Ihr Korn ist so fein, dass die Gesteine dem unbewaffneten Auge dicht erscheinen, flachmuschelig bis splitterig brechen, matt und undurchsichtig sind. In ihren natürlichen Lagerstätten treten sie immer deutlich geschichtet auf; nach chemischer Zusammensetzung, Bildungsweise, Alter und Färbung zeigen sie grossen Wechsel. —

Neben $CaCO_3$ enthalten sie stets grössere Mengen anderer (Eisen-, Mangan-, Magnesium-) Karbonate, sowie oft reichliche Beimengungen von Kieselsäure, Thon, Eisenoxyd, Kohle, Bitumen,

Glimmer, Talk, Serpentin oder Pyrit. Mit Rücksicht hierauf unterscheidet man:

Kieselkalk, der wegen grösseren Kieselsäuregehaltes höhere Härte und schöne Politur annimmt (Fly bei Wesen, Pflasterstein von Zürich).

Thonigen Kalk oder *Mergelkalk,* gewöhnlich gelb oder grau, von grösserer Weichheit, schön muschelig brechend, mit deutlichem Geruch nach Thon (Solenhofer Lithographierstein, höchst dicht, englische Portlandsteine).

Eisenschüssigen Kalk mit höherem Gehalt an färbendem Eisenoxyd, wodurch sie zwar an Dauerhaftigkeit und Festigkeit einbüssen, aber durch ihre Farbeneffekte für die Technik wichtig werden (»Roter Tropf«).

Kohlenkalke, hellgrau bis dunkelblaugrau und schwarz durch stärkeren Gehalt an Kohle, dekorativ geschätzt, doch leicht abbleichend (Quintenerkalk).

Bituminöse Kalke, Stinkkalk, Asphaltkalk, von meist dunkler Farbe und so kräftigem Gehalt an organischen Substanzen, dass sie einen charakteristischen, brenzlichen Geruch verbreiten, besonders wenn sie gerieben oder zerschlagen werden.

Alle Kalke sind erzeugt durch Absatz (Sedimentation) aus Wasser, grösstenteils aus Meerwasser; indessen darf man sich nicht vorstellen, dass dieser Vorgang ein bloss mechanisches Absetzen sei, wie dies an den Ufern der Wasserbecken und an den Mündungen der Flüsse geschieht. Das Kalksediment ist vielmehr ein organogenes, d. h. tierisches oder pflanzliches Präparat. Der Kalk, ursprünglich in der Form von $Ca(HCO_3)_2$ im Wasser gelöst, wird von Geschöpfen des Meeres, besonders von Mikroorganismen (Foraminiferen, Polycystinen etc.) als $CaCO_3$ zum Bau ihrer Schalen verwendet. Durch das Absterben solcher Geschöpfe ergiesst sich fortwährend ein Schalenregen auf den Grund des Meeres, jetzt noch gerade so, wie in früheren Erdperioden *(Kreidekalk)*, weshalb der Kalk in allen sedimentären Formationen der Erde angetroffen wird. Die Nummuliten, als die Riesenformen solcher kleinsten Meerestiere, haben den *Nummulitenkalk* geliefert, das verbreitetste Kalkgestein der Erdrinde, das z. B. den ganzen Nordrand der Alpen begleitet; in geschliffenem und poliertem Zustande bildet es einen hübschen

architektonischen Zierstein (Ragazer Marmor). Andere Kalke sind das Werk von Korallen, die ausgedehnte Küstenregionen der Kontinente und Inseln mit ihren Riffen umziehen; zu diesen *Korallenkalken* gehören z. B. die schweizerischen Troskalke (Untervazer-Marmor zum Teil), der belgische St. Anna-Marmor, die Lithodendronkalke oder Tropfmarmore von Adneth (Salzburg), die Celloporenkalke der Wienerarchitekten, ein weichzelliges, wenig festes, leichtes, an der Luft sich schwärzendes Gestein. Nicht selten erweist sich der Kalk als eine Summe von Fragmenten der Skelettteile von Echinodermen (Seeigeln, Seesternen), in welchem Falle er als *Echinodermenbreccie* bezeichnet wird, z. B. der »Granite belge« von Ecaussines und Soignies, der schwarze Kalk von Wallenstadt. Viele Kalke schliessen massenhaft Muschelschalen ein, die durch den Meeresschlamm verkittet wurden; sie werden daher *Muschelkalke* genannt (Virgloriakalk), oder *Schneckenkalke, Lumachellen* (Nerinäenkalke von Lommiswyl) wenn sie Schneckenschalen enthalten; die Querschnitte der oft perlmutterglänzenden Muschel- und Schneckengehäuse verleihen diesen Gesteinen zuweilen ein prächtiges Farbenspiel. Als pflanzlicher Kalkerzeuger gilt insbesondere eine sich gleichsam fortwährend selbst versteinernde Alge, Nullipora ramosissima, welche noch heute im Mittelmeer gedeiht. Der *Nulliporenkalk,* den sie hervorbringt, ist von bedeutender Härte, Festigkeit und Tragfähigkeit, dienlich zu Säulen, Pfeilern, Gewölbewiderlagern, Treppen etc. — Besondere Erwähnung verdienen ihrer Struktur wegen die *Oolithkalke;* sie setzen sich zusammen aus kleinen, kugelförmigen, fischeierähnlichen Konkretionen, zu deren Entstehung bald ein Sandkorn, bald irgend ein Muschelfragment den Anstoss gab und die dann durch Kalkcement verkittet wurden. Vielfach ist er sehr feinkörnig und kompakt, nimmt gute Politur an und zeigt meist helle, graue bis gelbe Farben; hieher gehören viele Kalke der Juraformation, z. B. der bekannte, infolge seiner leichten Bearbeitbarkeit so viel verwendete graugelbe Savonnière, ebenso der gelbe Kreideoolith von Neuenburg.

Der Absatz aller dieser Kalke, vollzog sich einst am Grunde des Meeres in horizontalen, bald dünnen, bald dicken Schichten. Heute finden wir dieselben Kalke auf dem Gipfel hoher Berge, meist nicht mehr in horizontaler Schichtung, sondern mehr oder weniger steilstehend und oft vielfach verbogen zu Gewölben, Sätteln,

Falten der verschiedensten Art. Diese Umstellungen konnten aber nicht von statten gehen ohne vielseitiges Zerreissen des Gesteins, ohne die Bildung von Spalten und Klüften, die sich nachher wieder ausheilten und ausfüllten mit krystallisiertem Calcit, der nun in weissen bis gelben Adern die dunkleren Kalke durchzieht: *geaderte Kalke* (Port d'or). Gelegentlich haben sich auch kleinere oder grössere Blöcke voneinander losgelöst, aneinander verschoben und sich nachher wieder verkittet und dadurch ein eigentümliches, oft recht dekoratives Mosaik erzeugt; sie werden bezeichnet als *Kalkbreccien* (eckige Trümmer), *Brocatellen* (kleine rundliche Trümmer), *Trümmer- oder Ruinenmarmore* (siehe Trümmergesteine pag. 53).

Vergegenwärtigt man sich diese ausserordentliche Mannigfaltigkeit der dichten Kalke in chemischer Zusammensetzung, Färbung, Art der Entstehung, der Struktur und der späteren Umwandlung im Rahmen der Erdgeschichte, so begreift man leicht den unerschöpflichen Reichtum an »Marmoren«, der sich in allen Ländern der Erde wiederfindet und der zu den wechselvollsten baulichen und dekorativen Verwendungen Anlass bietet. Schönheit und Harmonie der Farben, Lebhaftigkeit der Zeichnung, Glanz der Politur und ausreichende Festigkeit spielten von Alters her in den Anwendungen die Hauptrolle. Während die Griechen vorzüglich dem weissen Marmor zugethan waren, bevorzugten die Römer die buntfarbigen Marmore und benutzten sie zur Innendekoration, wobei Glanz und Farbe ungeschwächt erhalten blieben. Seither hat Frankreich es insbesondere verstanden, eine ausserordentlich reichhaltige Musterkarte bunter und dichter Marmore der Technik einzuverleiben; Belgien und Italien sind von jeher in edlem Wettstreit ihm gefolgt; in neueren Zeiten haben auch Österreich und Deutschland sich ihnen angeschlossen. Die Schweiz mit ihrem so sehr wechselvollen geologischen Bau bietet bezüglich der Kalksteine dem Techniker fast alles, was ihm wünschenswert erscheinen mag, sobald nur der Sinn und das Bedürfnis dafür vorhanden sind. Um dem Techniker und Architekten einen etwelchen Einblick in die reiche Musterkarte von dichten Kalken zu geben, die zu seiner Verfügung steht, lassen wir auch hier eine kleine Zusammenstellung dichter und häufig verwendeter Marmore folgen, wiederum geordnet nach ihrem geologischen Alter und den einzelnen Ländern, unter

jeweiliger kurzer Charakteristik des Gesteins, der Bedeutung und Verwendung des Vorkommens*).

1. Silurkalke.

Böhmen: Roter Marmor von Slivence, lichtrot mit weissen Flecken und feinen dunkeln Adern, für Altäre, Taufbecken, Innendekoration. *Schwarzer Marmor von Silvence,* schwarzgrauer Muschelkalk für Postamente, Säulen, Pflastermosaik.

Reuss: Salzburger Marmor, meergrün, auch dunkel- bis blaugrün, daneben hell- bis dunkelgrau und schwarz, einfarbig und geflammt, sehr politurfähig, für Wandverkleidung, Möbelplatten, Säulen etc.

2. Devonkalke.

Belgien: Saint-Anne, schwarzgrauer Korallenkalk mit hellgrauer Zeichnung, weissen Flecken und Adern von Calcit, schön polierbar; das gewöhnlichste Material für Möbelplatten, Kaffeehaustische, Schrifttafeln etc.; im Freien abbleichend. *Noir coquillé, Grand antique* du Nord (Lumachelle), tief schwarz, mit calcitischen Adern und Flecken (Versteinerungen), vorzüglich polierbar, für Wandverkleidungen, Kamine etc. *Rouge royal, Rouge impérial,* glänzend ziegelrote bis fleischrote Farbe mit weissen Adern und breiten grauen Flammen. *Rouge ordinaire,* dunkelrote Grundfarbe und weisse Adern, *Rouge fleuri,* kirschrot mit weissen Adern und bläulichen Blumen etc., alle vorzüglich polierbar, geschätzt für Innendekoration, für Möbel- und Schriftplatten.

Braunschweig: Rübeländer Marmor, schwarzer, grau geflammter und weiss geaderter Kieselkalk mit hell- und dunkelroten Flecken (Versteinerungen), geeignet für monumentale Verwendung und Hochbauten.

Nassau: Marmor von Vilmar a. d. Lahn, verschieden grau und rot gefärbt, durch eingeschlossene Versteinerungen charakteristisch weiss gezeichnet, vorzüglich polierbar, aber nur für Innendekoration zu verwenden. *Marmor von Balduinstein a. d.*

*) Vgl. auch: *H. Schmid,* die modernen Marmore und Alabaster, Leipzig 1897. *B. Kosmann,* die Marmorarten des deutschen Reiches, Berlin 1888. *J. Petkovsek,* die Baugesteine Wiens, Wien 1897.

Lahn, kirsch- bis blutrot mit weissen, gelben, grauen oder blauen Flecken; prächtiges Dekorationsmaterial für Säulen, Kamine, Altäre etc.

Westfalen: Mecklinghauser Marmore, schwarz bis graugrün und rotbraun mit weissen, grauen, grünen, roten Flecken und Adern, sehr politurfähig, aber nur im Innern zu verwenden.

Frankreich: Saint-Anne français, dunkelgrauer Korallenkalk mit hellgrauen Flammen; für Möbelplatten etc. *Noir français* (Noir uni) tiefschwarz einfarbig für Schrifttafeln, Verkleidungen etc. *Ardennen-Marmore,* Marbre Charlemagne schwarz mit weissen Adern, St-Anne de Rancennes schwarzgrau mit weissen Flammen, Marbre Malplaquet lichtrotbraun; für diverse Marmorarbeiten, aber auch als Werksteine verwendet. *Rouge antique de Caunes,* tiefrot, weis, geadert, besonders für kleinere Objekte verwendet (Uhrgehäuse) aber auch zu Balustraden, Möbelplatten etc. *Incarnat de Caunes* (Marbre du roi, Rouge de France), scharlachrot, weiss und breit geflammt, in grossen Blöcken zu haben; in Schlössern, Domen, Palästen in weiter Verbreitung verwendet. *Campan rouge, vert, Isabelle, mélangé, rosé;* entsprechend gefärbte, weiss geaderte, etwa auch konglomeratische prächtige Ziersteine, die in grossen Blöcken gewonnen werden; Verwendung wie vorige. *Grand antique d'Aubert,* tiefschwarz, mit weissen, zackigen Calcitadern; schon zu Römerzeiten benutzt für Innendekorationen wie vorige.

3. Karbonkalke.

Belgien: Noir belge, tiefschwarz, bei verschiedener Korngrösse, vorzüglich polierbar, zu Schriftplatten, Möbelplatten etc. und für Innendekoration verwendet. *Bleu belge,* blauschwarzer Kieselkalk mit weisser Aderung, verwendet wie der vorige, auch zur Pflästerung. *Granit belge,* schwarzgrauer Kieselkalk mit weissen und grauen, runden und eckigen Flecken, herrührend von Versteinerungen; Farbe und Politur auch im Freien ziemlich haltbar; Hauptmaterial für Grabsteine, Säulen, Façaden, auch Werkstein, weit herum angewendet.

Bayern: Marmore von Bayreuth, Goldkronach und Hof im Fichtelgebirge, grau, schwarz, grünlich, fleischrot bis braunrot mit guter Politur, zum Teil gut widerstandsfähig.

Rheinprovinz: Eifeler Marmore, blaugrauer Kieselkalk mit weissen Flecken (wie St-Anne), für Grabdenkmäler und Hochbauten verwendet in der Umgebung des Verbreitungsbezirks.

Frankreich: Marmore von Fergues-Hydrequent, aschgrau bis hellrot, drapfarben, wellig gebändert, rot geadert, auch mit weissen Muscheln, geeignet für die verschiedensten Marmorarbeiten, auch beste Werksteine.

4. Triaskalke.

Bayern: Berchtesgadener Marmor, hell- bis dunkelrot oder braun, bald gleichmässig gefärbt, bald weiss, gelb oder grau geadert; (Gutenstein-, Dachstein- und Hallstätterkalk), passend für Monumente, Sockel und kleinere Marmorarbeiten.

Italien: Nero di Como, einfarbig schwarzer Marmor für gewöhnliche Marmorarbeiten, Kamine, Pflasterplatten etc. *Occhiatino di Varenna,* rauchschwarzer Kalk mit grauen und weissen Flecken und Adern. *Port' or di Portovenere,* tiefschwarzes Gestein mit weissen, schwefel- und goldgelben Adern, bekannt in allen Ländern als prachtvolles Innendekorationsmaterial.

Österreich: Adnether-Marmore, auch *Tropfmarmore* (roter, grüner, brauner Tropf mit entsprechender Grundfarbe), Korallenkalke, in denen schneeweisse, runde Flecken sich abheben als Querschnitte von Korallenästen, sehr geschätzte und weit herum viel verwendete Materialien für Innendekoration. *Bleiberger Muschelmarmore,* prächtig opalisierender Muschelkalk (Lumachelle) von graubrauner Grundfarbe und weissen, gelb, rot und blau schillernden Schalenresten; geschätzt für kleine, kunstgewerbliche Gegenstände. *Marmor von Bludenz,* schwarz, mit weisser Aderung; für Grabsteine; Farbe aber nicht haltbar im Freien.

Ungarn: Siklos-Marmor, dunkel fleischrot oder gelb mit lichteren Partieen, weissen und gelben Adern und Flecken, sehr schönes, für Innendekorationen geeignetes Material.

Schweiz: Chable rouge von Yvorne, feurig rotbraun mit weisser Aderung, sehr dekoratives Gestein. *Marmor (Cipollin) von Saillon* (Wallis) gehört wohl zum Teil auch zu den Jurakalken; sehr feinkörnig, mit blaugrünem Serpentin, mehr oder

weniger regelmässig (Cipollin rubané) oder sehr stark verwachsen (Vert moderne), aber auch völlig rein weiss bis elfenbeinfarbig, mit grünen, violetten oder blaugrauen Streifen, die wolkige bis wellige Zeichnungen erzeugen (Cipollin grand antique), ein schon zu Römerzeiten sehr geschätztes Dekorationsmaterial, geeignet für Säulen, Kamine, Möbel, Tischplatten etc. Jetzt in grossen Brüchen planmässig ausgebeutet und in grossen Blöcken lieferbar; weit herum verwendet.

5. Jurakalke.

Bayern: Kehlheimer Marmor, weisser bis gelbrötlicher, mergeliger Korallenkalk, dickbankig und auch dünnspaltig, an der Luft schwarz werdend, sonst wetterbeständig; für Monumente, Säulen, Bildhauerarbeiten, Hochbau und Pflästerung (»Kehlheimer Pflasterplatten«).

Frankreich: Comblanchien, grauweiss bis lichtkaffeebraun, rosenfarbig (Rosé de Bourgogne), gelblich- bis rosagefleckt (Comblanchien moucheté), verwendet für Innendekoration, Säulen, Treppenstufen etc. *Marbre du Hauteville* (Blanc du Jura), mit angenehmer gelblichweisser Farbe; angewendet als Façadenstein, für Stiegen, Säulen, Brunnen. *Jaspé du Jura,* rot mit gelben Partieen; die Politur verliert sich im Freien rasch; beliebtes Material zur Innendekoration, weit herum verwendet. *Marbre de Sampans,* gelbe bis rote Muschelkalke (Lumachelle jaune, Lumachelle rosé) als dekorativer und Façadenstein verwendet, sogar in Mexiko und Siam. *Marbre de Saint Amour,* grauer, gelber bis rötlicher Muschelkalk mit rosenroten und weissen Streifen, namentlich in Kirchen zur Dekoration angewandt. *Echaillon-Marmor,* weiss, gelb, rötlich, wetterbeständig, für Aussen- und Innendekoration in ganz Mitteleuropa sehr häufig verwendet. *Jaune du Var,* warmgelbes Gestein mit roter und brauner, feiner Aderung; zur Innendekoration in Palästen und Schlössern angewandt. *Lumachelle grise de Choumerac,* grauer Muschelkalk mit dunkel ausgefüllten Versteinerungen, wetterbeständig, verwendet für Brunnenbassin, Sockel. *Lumachelle des Pyrenées* (Lumachelle de Lourdes), rötlichgrauer Muschelkalk, die Muscheln schwarz gefüllt, graugelb bis weiss gerändert. Für gewöhnliche Marmorarbeiten und Hochbauten in grossen

Blöcken zu erhalten. *Sarrancolin d'Ilhet,* graue, gelbe, grünliche und lichtrote Nuancen des Gesteins fliessen wolkig ineinander und sind noch durchzogen von gelben Adern, auch breccienartig. Sehr schönes Material für Innendekorationen; in Luxusbauten vielfach und häufig angewandt.

Italien: Veroneser Marmore, rote, gelbe, auch breccienartige Kalke, die unter verschiedenen Namen besonders in italienischen Kirchen, aber auch weiter herum oft Anwendung finden und schon bei den alten Römern geschätzt waren. *Marmor Botticino,* gelblich weiss mit lichten Flecken und feinen dunkeln Adern, für Kirchendekoration, Grabmäler etc. vielfach verwendet. *Giallo di Siena,* einfarbig hochgelb (G. unito) oder blassgelb mit roten bis schwarzen Adern und Bändern (G. brecciato) oder mit dunkel pfirsichfarbenem Grund und gelben bis weissen, rundlichen Trümmern (Broccatello di Siena), weit herum sehr geschätztes Material für Innendekoration, Säulen, Kamine etc.

Österreich: Engelsbergermarmor, feurig rot mit weissen Blumen, auch in grauen und rosenfarbigen Abarten; sehr beliebte Materialien für Innendekoration. *Adnether Marmore* (Korallenkalke) »Rot-Scheck« und »Blau-Scheck«, auf rotem und blauem Grunde weisse Felder, besonders in Kirchen dekorativ verwendet. »Rot-Schnöll« und »Blau-Schnöll«, bei rotem und blauem Grunde entweder weisse und graue, oder weisse und schwarze Flecken; der erstere in grossen Blöcken abbaubar. *Altendorfer Marmor,* rote Echinodermenbreccie, wie mit Milch betropft (weisse Glieder von Crinoidenstielen); früher viel in Kirchen verwendet, heute mehr für kleinere Marmorarbeiten. *Mori-Marmore,* hell- und dunkelgelbe, auch verschieden rote und gefleckte Kalke, die unter allerlei Namen zur Innendekoration dienen, wie auch die Trientiner Marmore. *Arco-Marmor,* grauweisser bis blassrosenroter oolithischer Kalk, für Figuren, als Bildhauerstein sehr geschätzt. *Marmore von Au, Dreitobel und Schröcken* (Bregenzerwald), schwarzer Kalk mit schwacher weisser Aderung, oder lichtbraun mit roten, violetten und braunschwarzen Äderchen, verwendet zu Grabsteinen und für Bauzwecke. *Piszke-Marmore* (Ungarn), graue und rote Korallenkalke, ungefähr gleich den Adnether- und Veronesergesteinen; sehr geschätzte und viel verwendete Materialien für Innendekoration.

Schweiz: Rosso di Mendrisio, roter, daneben auch grauer und bunter Kalk, sehr dekorativ und im In- und Ausland geschätzt. *Saint-Anne suisse de Saint-Triphon,* dunkelblaugrauer Liaskalk mit weissen Wolken und Adern, in grossen Blöcken abbaubar, zur Innendekoration und für Möbelplatten zu verwenden. *Noir de Saint-Triphon,* schwarz, mit feiner weisser Aderung, für Marmor und Bildhauerarbeiten sehr geschätzt. *Marmor von Collombey* bei St.-Triphon: hellgraue und dunkelviolette Echinodermenbreccie; Verwendung wie vorige. *Port'or suisse de Vionnaz,* schön schwarz mit gelben und weissen Adern, prächtig für Innendekoration. *Marmore von Saillon* z. T. (siehe Triaskalke). *Lumachelle-Marmor von Solothurn,* hellgrauer Kalk erfüllt mit weissen Versteinerungen von Meerschnecken (Nerinaeen); gut polierbar und in grossen Blöcken zu gewinnen; vielfach verwendet für Säulen, Bassins, Sockeln, Treppenstufen. *Lumachelle-Marmor von Lommiswyl,* derselbe Kalk bei hellgelber bis hochgelber Farbe in 4 Nüancen; gleiche Eigenschaften und Verwendung wie der vorige. *Marmor von Mont d'Arvel bei Villeneuve,* rotbraune Echinodermenbreccie mit grauer Bänderung, zu Bauzwecken und gewöhnlichen Marmorarbeiten geeignet, in grossen Blöcken zu gewinnen. *Oolith-Marmor von Laufen* im Birsthal, hellgelber Malmkalk mit weisser Aderung, dieselbe Verwendung. *Oolith-Marmor von Hauterive,* St.-Blaise, gelber oolithischer Kalkstein, für Bauzwecke verwendet.

6. Kreidekalke.

Bayern: Reichenhallermarmor, weisser bis gelblicher Hippuritenkalk, sehr fest und wetterbeständig, für Grabsteine und Bauzwecke verwendet.

Frankreich: Gris-tendre de Luvie-Juzon, perl- bis aschgrauer Muschelkalk mit dunklen Versteinerungen und Adern, geeignet für Säulen, Bassins etc.; in grossen Blöcken zu gewinnen. *Marbres d'Izeste,* rötlichweiss mit schwarzen und weissen Flecken, auch blauschwarz mit grauen und weissen Muscheln, sehr haltbarer Dekorationsstein.

Italien: Marmor von Aviano, lichtgelbrot und sehr fest; dekorativ, für Pfeiler, sowie zur Pflästerung. *Pietra ruiniforme di Firenze* (Ruinenmarmor) gelblichgrauer Mergelkalk mit röt-

lichen dunkleren Zeichnungen in zackigen Formen, ähnlich zerfallenem Gemäuer, sehr politurfähig, als prächtiges Material für Innendekoration überall bekannt.

Österreich: Ruinenmarmor von Klosterneuburg, graugelber Mergelkalk mit dunklerer roter Zeichnung in Ruinenform; dekorativ in kleineren Formen verwendet. *Untersberger Marmore,* lichtrötliche oder gelbliche Hippuritenkalke mit weissen, roten und auch schwarzen Pünktchen; sehr fest und wetterbeständig in der Farbe, in ganz Mittel-Europa bekannt und viel verwendet; in grössten Blöcken zu gewinnen. *Karstmarmore,* hellgraue, schwarzpunktirte, kieselige Rudistenkalke, fest und wetterbeständig, architektonisch in grossem Massstabe verwendet und vielerorts gewonnen.

7. *Tertiärkalke.*

Bayern: Granitmarmor (Rosenheimer Granitmarmor), hellgrauer feiner, kieseliger Nummulitenkalk, für Grabdenkmäler und als dekorativer Baustein viel verwendet. *Enzenauermarmor,* roter kieseliger Nummulitenkalk mit weissen Flecken, mit sehr haltbarer Politur; für monumentale Arbeiten gerne verwendet.

Schweiz: Ragazermarmor, schwarzgrauer Nummulitenkalk mit breiter weisser Aderung, sehr fest; für Grabmonumente, Tischplatten, Bodenplatten und Hochbau; vielfach und weithin verwendet.

Wie aus dieser gedrängten Zusammenstellung ersichtlich, ist die Mehrzahl der dichten Kalke oder bunten Marmore bloss zur Innendekoration geeignet; nur so behalten sie Farbe und Glanz, während sie im Freien allmählig erblinden und abbleichen würden; insbesondere satte dunkle Farben werden bald stumpf und schiefergrau. Was bezüglich Verwitterung bei den körnigen Marmoren mitgeteilt wurde, gilt auch hier, zumeist in erhöhtem Masse, denn manche der Beimengungen, die den dichten Kalken eigentümlich sind, leisten den dort geschilderten Prozessen erheblichen Vorschub. Das fast überall vorhandene kohlensaure Eisen ruft durch seinen Übergang in höhere Oxydationsstufen dem Rostprozess; graue und graublaue Steine erhalten gelbliche Rinden und Flecken. Pyrit, der hier in Nestern, dort in feiner Zerteilung so gerne sich beimischt, geht über in Eisenvitriol, der nicht allein wieder die bekannten Rostflecken im Gefolge

hat, sondern überhaupt den Kalkstein zerstört: der Stein »verfault«. Thongehalt begünstigt unter dem Einfluss des Wassers die Erweichung des Gesteins; ähnlich wirkt die Porosität, wesshalb bei Werkstücken, welche eine grosse Belastung erfahren sollen, spezielle Vorsicht am Platze und die Prüfung der Druckfestigkeit Gewissenssache ist. Die schädlichen Wirkungen der Fabrikstadtatmosphäre, der Rauchgase, machen endlich naturgemäss auch hier sich geltend. — Ein Schutz polierter Flächen durch Bemalen pflegt nicht üblich zu sein. Das Einträuken von Wasserglas bietet nur zweifelhaften Erfolg; die Fluate, z. B. das Kessler'sche und neuerdings das Testalin, scheinen hiefür sich besser zu empfehlen. Erfahrungsgemäss dient auch das blosse häufige Abwaschen polierter Flächen und nachheriges Abtrocknen mit fett- oder wachsgetränktem Flanell sehr zur Erhaltung der Farbe und Politur.

c) Kalksinter und Kalktuff (Süsswasserkalke).

Wenn Regenwasser auf seinem Wege durch die Erdrinde Gelegenheit findet, infolge seines Kohlensäuregehaltes sich mit saurem kohlensaurem Kalk $Ca(HCO_3)_2$ mehr oder weniger zu sättigen, so setzt es denselben als gewöhnlichen kohlensauren Kalk, $CaCO_3$, wieder ab, sobald es einen Teil seiner Kohlensäure verliert oder wegen starker Zerteilung reichlicher verdunstet. Auf solche Weise werden an den Quellpunkten von Wasseradern, am Boden eines Baches, Gräser, Kräuter und niedriges Gesträuch nach und nach mit einer Kruste von *Kalktuff* überzogen, und setzen sich ferner an den Wänden der Höhlen des Kalkgebirges die *Kalksinter* ab mit ihren Tropfsteinen (Stalaktiten und Stalagmiten). Auch heisse Quellen führen zuweilen in grossartigem Massstabe zur Bildung derartiger Süsswasserkalke. So bildeten sich weiterhin die Tuffe und gelblichweissen *Travertinbänke* der Campagna und von Tivoli bei Rom, die für die Bauten dieser Stadt seit ältester Zeit von der grössten Wichtigkeit waren, sowie endlich die prächtigen *Onyxmarmore*, die durch ihre oft bunte, meist weisse, wachsgelbe und braune Farbe und Zeichnung schon im Altertum geschätzt wurden und neuerdings als dekorative Materialien wieder besonders zu Ehren gezogen werden. Aus Italien kennt man in dieser Richtung

besonders die Onyxmarmore von Caneva, Solagna, Bergamo, Gesualdo und Sicilien, aus Österreich denjenigen von Laas, aus Spanien solche von Malaga und Arcena; schon die alten Römer schätzten die auch bei den Arabern beliebten, bunten Kalksinter aus Oran in Algier, denen in der Neuzeit sich solche von Beni Souef und Siout in Ägypten erfolgreich beigesellen. Die Onyxmarmore von Arizona und Californien, sowie manche mexikanische und brasilianische Arten, finden, ähnlich wie das persische Gestein von Täbris, sehr oft auch nach Europa ihren Weg.

Wenn der Kalktuff noch frisch und durchnässt ist, zeigt er sich mürbe, weich und lässt sich sehr leicht bearbeiten; beim Eintrocknen nimmt er genügende Festigkeit an, um als Baustein für Mauerwerk besonders als Façadenstein verwendet zu werden. In dieser Beziehung haben auch bei uns die Kalktuffe von Bazenheid und Mosnang im untern Toggenburg sowie von der »Hölle« bei Baar bereits vielfache Anerkennung gefunden, sowohl bei öffentlichen (Landesmuseum) als privaten Bauten.

d) Der Dolomit (Bitterkalk).

Er entspricht der Zusammensetzung $CaCO_3 . MgCO_3$, besteht also zu gleichen Teilen aus kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia. Mit dem gewöhnlichen Kalke ist er durch das Zwischenglied der »dolomitischen Kalke« verknüpft, die weniger $MgCO_3$ enthalten; auch zeigt er nach seiner Ausbildungsweise und im Auftreten die grösste Ähnlichkeit mit ihm, ist aber etwas härter (3,5—4,5), ein wenig schwerer (s = 2,8—2,9) und schwieriger chemisch angreifbar, als der Kalk. Dolomit und Kalk kommen innerhalb der Erdrinde vielfach nebeneinander vor und haben deshalb in der Erdgeschichte dieselben Schicksale geteilt. In der Dyas-, Trias- und Juraformation und besonders im »Hauptdolomit« der Ostalpen ist das Gestein selbständig und mächtiger entwickelt; bezüglich seiner Entstehungsweise haben die Ansichten im Laufe der Zeit sehr stark gewechselt und sind auch jetzt noch nicht in völlig befriedigender Weise abgeklärt.

Man pflegt zu unterscheiden:

a. Krystallinisch-körnigen Dolomit, »Dolomitmarmor«, von sandsteinartigem, bis oft locker zuckerförmigem Habitus bei graugelber bis gelblichweisser Farbe, selten schneeweiss. Das

mikroskopische Bild enthüllt mehr oder weniger deutlich rhombisch, dreiseitig oder sechsseitig umgrenzte Körner, deren Umrisse sich allerdings oft ziemlich stark verzerren, jedoch nicht so ineinander sich verzahnen, wie beim gewöhnlichen Marmor. Trotz dieser Struktur ist die Druckfestigkeit vielfach eine sehr bedeutende. Auch der Dolomitmarmor ist aus gewöhnlichem dichten Dolomit entstanden, auf denselben Wegen einer Umkrystallisation, wie der gewöhnliche Marmor aus dichtem Kalk; dabei haben sich gleichzeitig wieder ungefähr dieselben Mineralien gebildet, wie dort; Anwesenheit von reichlichen farblosen Glimmerblättchen erzeugte auch hier ein cipollinartiges Gestein.

Parischer Dolomitmarmor ist ein berühmter Statuenmarmor der Antike. Einzelne schlesische, österreichische und norwegische Dolomitmarmore finden Verwendung zu Skulpturen, Säulen und Grabsteinen, sowie als gewöhnliches Baumaterial. Die bekannten schweizerischen Vorkommnisse im Binnental, in den Umgebungen von Airolo, am Campolungo und Lukmanier haben in dieser Richtung bisher noch keine Anwendung gefunden.

β. Dichten Dolomit, weisslichgelbe, graue bis braune, manchmal auch oolithisch gebaute, geschichtete Gesteine, mit zuweilen starker Zerklüftung, dem dichten Kalk im Aussehen vollkommen gleichend. In manchen Gegenden, z. B. in Südbayern, in Südtyrol (Schlerndolomit), im Gebiet zwischen Davos und Engadin, im Puschlav etc. tritt er in malerischen Bergformen auf. Weniger zerklüftete Vorkommnisse bieten in der Regel chemisch gut widerstandsfähige, also wetterfeste Bausteine; in gebranntem Zustande liefert er unter Umständen vorzüglichen Mörtel oder ein günstiges basisches Futter für diverse metallurgische Prozesse.

γ. Rauchwacke (Cargneule) ist ein zelliger, rauchgrauer Dolomit mit sehr unregelmässig gestalteten, eckigen, bald grossen, bald kleinen Hohlräumen, deren Wände oft mit kleinen Dolomitrhomboëdern bekleidet sind. Das Gestein hat ein zerfressenes rauhes Aussehen, und eignet sich seiner geringen Festigkeit wegen weniger für Bauzwecke als die ähnlich scheinenden Formen des Kalkes.

δ. Ophicalcit. Ophicalcit nennt man Kalksteine, die mehr oder weniger stark von Serpentinadern durchwachsen, oder mit

Körnern, Flecken oder Nestern dieses Gesteins gemengt sind, beides zuweilen in so hohem Grade, dass der Kalk zurücktritt, oder ein wirres Netz von weissen und lichtgrünen, auch weissen und roten Adern entsteht, das geschliffen und poliert dekorativ äusserst wirksam ist, und deshalb schon im Altertum als verde antico entsprechende Verwendung fand. Von heute geschätzten Sorten seien erwähnt:

Verde di Susa, blassgrün mit weissen und dunkelgrünen Flecken.

Verde di mare von Polceverra bei Genua; auf grünem serpentinösem Grunde finden sich rote Partieen und weisse Calcitadern; höchst dekoratives Gestein für Säulen (bis 7 m Länge), Schriftplatten, Vasen, Kandelaber, vielfach verwendet.

Rosso di Levante, von Bonassola; der rote Grund wird von grünen und weissen Adern durchzogen; auch hier können grosse Blöcke gewonnen werden, die gleich dem vorigen Verwendung finden.

In Frankreich ist das *Vert Maurin* oder *Vert des Alpes* ein an Stelle vom Verde di mare, seiner leichteren Bearbeitbarkeit wegen viel benutzter Dekorationsstein.

Die *Ophicalcite von Gastein und von Matrei* (Brenner) sind berühmte ostalpine Dekorationsgesteine.

Aus der Schweiz haben neuerdings das *Vert moderne* und der *Cipollin rubané* von Saillon (Wallis) in weiteren Kreisen die verdiente Anerkennung gefunden.

B. Schwefelsaure Kalke.

a) Anhydrit, Gyps und Alabaster.

Anhydrit ist wasserfreier, schwefelsaurer Kalk ($CaSO_4$), grob- bis feinkörnig und dicht, von weisser, grauer, blaugrauer oder rötlicher Farbe und glas- bis perlmutterglänzendem Bruche. Er bildet in der Natur mächtige Lager und Stöcke, die in der Nähe der Oberfläche mehr und mehr in wasserhaltigen Gyps übergehen, mit dem er immer zusammen vorkommt. Ein blaugrauer, dunkelfleckiger Anhydrit von Volpino in der Umgebung von Bergamo, wurde als *Vulpinit* schon im Altertum in grossen

Blöcken gewonnen, die für Innendekorationen, d. h. zu Skulpturen, Möbelplatten und Fussbodenbeleg Verwendung fanden.

Der Gyps, wasserhaltiger schwefelsaurer Kalk ($CaSO_4 . 2H_2O$), ist ein höchst feinkörniges bis dichtes Gestein von weisser, graulicher, bläulicher bis rötlicher Farbe und mattem Aussehen. Er ist häufig durch organische Substanzen, durch Thon und Mergel, Glimmer, Talk, Schwefel und Schwefelerze etc. mehr oder weniger stark verunreinigt und in seinem Vorkommen an Anhydrit, Salz und Thon gebunden, weil er häufig aus ersterem entsteht und neben letzteren aus Wasser abgesetzt wird. Die bald deutlich geschichteten, bald völlig regellos abgelagerten, oft stark klüftigen Gypslager und Gypsstöcke werden in allen Formationen der Erdrinde angetroffen, in Europa besonders in der Dyas-, Trias- und Tertiärformation. Aus der Schweiz sind namentlich der Gyps von Bex, sowie die Brüche von Ehrendingen und Schleitheim bekannt geworden durch die starke Verwendung ihres Materials in der Landwirtschaft. In bautechnischer Richtung dient der Gyps in ausgedehnter Weise zur Herstellung von Stuccaturarbeiten an Wänden und Decken, zur Erzeugung von Mörtel, Cement und innerem Verputz, zur Anfertigung von Modellen und Abgüssen etc.

Der Alabaster ist ein krystallinisch klein- bis feinkörniger politurfähiger Gyps von gewöhnlich rein weisser, zuweilen aber auch grauer, gelblich bis rötlicher Farbe, oder wolkig, flammig, streifig, fleckig, dazu meist stark transparent und von schimmerndem Glanze. Er ist wesentlich leichter als Marmor, und lässt sich infolge seiner Weichheit mit dem Fingernagel ritzen. Da er, wie aller Gyps, ziemlich gut wasserlöslich ist, darf er nicht im Freien verwendet werden. Er lässt sich ausserordentlich leicht bearbeiten, schneiden, drehen, glätten und polieren, und findet häufige Verwendung zu Statuen, Reliefs, Säulen, Schalen, Kandelabern, Uhrgehäusen und Kunstwerken mannigfacher Art, und zwar seit dem klassischen Altertum. Es sei hier erwähnt, dass z. B. der Alabaster von Volterra (Toskana) schon von den Etruskern zur Herstellung von Aschengefässen benutzt wurde; auch heute noch steht derselbe mit seinen verschiedenen (weissen, gelben, rotbraunen, gebänderten, gefleckten) Modifikationen vielfach im Gebrauch. Die assyrischen Reliefs an den Backstein-

wänden der alten Paläste von Niniveh sind auf Alabasterplatten hergestellt. Jedes Land hat seine besonderen kleinen Alabastervorkommnisse; die italienischen dürften immerhin am meisten anerkannt sein. Für die Schweiz sei kurz hingewiesen auf diejenigen von Granges (Wallis), Bex (Waadt) und Ehrendingen (Aargau). Lichtgelbe, von weissen Adern durchzogene, halb durchsichtige (orientalische) Alabaster konnten seit der Römerzeit vom roten Meere her bezogen werden, sowie aus Spanien (Alicante und Valencia) und Sicilien (Trapani).

3. Thongesteine.

Unter diesen Titel können jene Gesteine zusammengefasst werden, welche entweder ausschliesslich aus kieselsaurem Aluminium ($Si_2O_9Al_2H_4$) bestehen (Kaolin) oder, was viel häufiger der Fall ist, daneben in geringerer oder grösserer Menge auch noch andere Substanzen (besonders Quarz, kohlensauren Kalk Eisenoxyde, organische Verbindungen) enthalten (die Thone im engeren Sinne). Die geologisch älteren und stark veränderten Formen der letzteren sind schon unter den Thonschiefern (pag. 21—23) erwähnt worden. »Über die Entstehung und das Vorkommen der Thongesteine« hat bereits *A. Heim* (im 6. Heft dieser Mitteilungen) einlässlicher sich ausgesprochen, weshalb darüber hier nur kurze Angaben gemacht werden können.

Alle Thongesteine sind als Trümmergesteine anzusehen, und zwar speziell als das Produkt der *chemischen* Zerstörung (Verwitterung) aluminiumhaltiger Silikate. Daher gelten unter den Mineralien insbesondere die Orthoklase, Plagioklase und Feldspathstellvertreter, weniger die Glimmer und deren Verwandte, als Kaolin- und Thonerzeuger, daneben aber auch ebenso häufig die Grundmassen der von Graniten, Syeniten und Dioriten sich ableitenden Gang- und Ergussgesteine (Granitporphyre, Quarzporphyre, Liparite etc.)

Reinweisses, erdiges, fein anzufühlendes *Kaolin* (Porzellanerde) ist die substantielle Grundlage zur Herstellung der edelsten Thonwaren (Porzellan, Fayence etc.); es bleibt mancherorts in zusammenhängenden, abbauwürdigen Massen an seinem Ent-

stehungsorte liegen (Meissen, Halle, Yrieux, China) und erscheint dort häufig auch vermischt mit Quarz, Kalkkarbonat und Eisenoxyd, den neben ihm sich bildenden Verwitterungsprodukten obgenannter Mineralsubstanzen, die in der Technik im wesentlichen durch einen Schlämmprozess von ihm abgetrennt werden.

Ungleich häufiger und in viel ausgedehnterer Weise wird aber das kieselsaure Aluminium mit seinen Begleitern durch das Wasser mechanisch fortgetragen und auf neuen Lagerstätten, an den Mündungen der Flüsse in Seen und Meeren, oder in seitlichen Wassertümpeln der Flussläufe, wieder fallen gelassen und abgesetzt.

Diese Ablagerungen begegnen uns heute in jüngeren, geschichteten Sedimenten im Wechsel mit gröberem Absatzmaterial (Sand und Kies) unter verschiedenen Namen, als *plastische Thone* (fetter Thon, magerer Thon), *Mergelthone, Mergel* oder *Mergelkalke,* so benannt je nach dem kleineren oder grösseren Gehalt an kohlensaurem Kalk, der durch den *thonigen Kalk* zu den eigentlichen Kalkgesteinen hinüberführt. Sie bilden in der Technik die Basis für die Herstellung der verschiedenen Thonwaren und des Cementes. Reichere Beimengungen von Quarz (Sand) erzeugen den *sandigen Thon,* geeignet zur Ziegelfabrikation; organische (bituminöse und kohlige) Substanzen können den Thonen eine graue bis schwarze Farbe verleihen (schwarze »Kreide«), Eisenoxyd und Hydroxyd an ihnen eine ausgesprochen rote oder gelbe Färbung hervorrufen. Terra di Siena, lemnische Erde, Ocker, Gelberde etc. sind solche *eisenschüssige Thone.*

Marine Thone (Meerestierreste einschliessend), wie viele jurassische und cretacische Thone, erscheinen zufolge ihrer Entstehung im allgemeinen reiner d. h. besonders kalkärmer, als die *Süsswasserthone* (mit Versteinerungen von Landpflanzen und Süsswassertieren) der Molasse und der recenten Alluvionen (alte Seeböden), die in ihrer Zusammensetzung naturgemäss zu starkem Wechsel geneigt sind. —

Alle diese verschiedenen Thone stellen ursprünglich, d. h. in ihrer Jugend, weiche plastische Massen dar. Durch Druck werden sie nach und nach fester, trockener und wasserundurchlässig und können endlich auch ein mehr oder weniger deutliches

schiefriges Gefüge annehmen, zu *Schieferthonen* werden. Hand in Hand mit dieser Änderung des Gefüges leitet sich die Neubildung diverser Mineralien ein, die z. B. als feinschuppige Glimmer und Chlorite besonders auf den Schieferungsflächen erscheinen und dort jenen Seiden- bis Perlmutterglanz erzeugen, der für die früher erwähnten *Thonschiefer* und *Phyllite* so charakteristisch ist. In diesen haben wir also die durch den Gebirgsdruck umgewandelten Thone älterer und ältester Formationen zu erblicken.

Ihnen gegenüber bildet der *glaciale Thon* oder *Lehm* ein Gebilde der jüngsten Erdepoche, wohl nichts anderes, als zusammengespühlter, unendlich feiner Schleifschlamm, den die gewaltigen Eisströme der Gletscherzeit auf ihrer Unterlage abgehobelt haben, wie er auch heute noch schwebt in der Milch der Gletscherbäche und in den weissblauen Fluten des Genfer- und Vierwaldstädtersees. Solche glaciale Lehme sind gute Ziegelthone (Fuss des Ütliberg). Da sie äusserst wasserundurchlässig sind, giebt ihr Vorkommen da Anlass zu Sumpf- und Torfbildung, dort zum Austritt von Quellen. — Als *Löss* bezeichnet man durch den Wind zusammengetragene Thonmassen, die zuerst aus China bekannt wurden, jetzt aber auch in unseren Gegenden recht oft neben glacialen Thonen angetroffen werden.

4. Trümmergesteine.

(Breccien, Konglomerate, Sandsteine, vulkanische Tuffe).

Sie sind das Produkt der mechanischen Zerstörung (Zersprengung) sämtlicher vorausgehender Gesteinsarten, also erzeugt durch die auflockernde und sprengende Thätigkeit des Wassers im Bunde mit Temperaturwechsel und Organismenwelt. Die entstehenden Trümmer bleiben seltener nahe am Ursprungsorte liegen; viel häufiger führt sie die Schwerkraft bald ohne, bald mit Hülfe des fliessenden Wassers oder des Windes fort und lässt sie näher oder ferner von der Heimat, in grobem oder feinem Korn, eckig oder gerundet, wieder liegen. Im Laufe der Zeit werden sie durch von aussen hinzutretende Substanzen in verschiedener Weise bald lose, bald fester wieder verkittet. Dadurch erstehen ganze Reihen neuer, zum Teil technisch hoch bedeutsamer Gesteinsformen, bei welchen nach Form und Art

der Trümmer, nach der Natur des Bindemittels und je nach dem Grade der Verkittung die Bezeichnung, die Eigenschaften und technischen Verwendungen reichlich wechseln und sich bestimmen. — Zerstörung von bereits bestehenden Gesteinen, Dislokation und Wiederverkittung der Trümmermaterialien vollzogen sich unausgesetzt, seit festes Gestein auf der Erdoberfläche erschien, und die erwähnten Gewalten ihre nimmer rastende Arbeit beginnen konnten, bis herab auf unsere Tage.

Die verschiedenen Arten der Trümmergesteine bildeten sich daher zu allen Zeiten der Erdgeschichte; sie müssen in allen Formationen wieder erscheinen. Je näher sie der Gegenwart stehen, um so mannigfaltiger ist die Natur der vorhandenen Trümmer, um so unvollkommener aber im allgemeinen die Art und der Grad der Verkittung; Produkte der Gegenwart sind Gesteinsgrus, Gerölle, Kies und Sand, sowie die losen vulkanischen Auswurfsmassen (Bomben, Rapilli, Aschen).

A. Breccien.

(Die Trümmer sind grösser als ein Hirsekorn und eckig).

Die Breccien liegen nahe ihrem Ursprungsorte; sie repräsentieren die wiederverkitteten Gesteinstrümmer der Schutthalden des Gebirges, die neuverbackenen Felsbrocken alter Bergstürze und Steinströme (*Bergsturzbreccie* vom Ausgang des Sernftales und vom Flimserstein), die vercementierten Reibungs- und Dislokationsprodukte der grossen Verschiebungszonen innerhalb der Erdrinde, besonders gern entwickelt in den Berührungsgebieten verschiedener Gesteinsarten (*Reibungsbreccie,* die verbreitetste Form), das ehemalige Material glacialer Moränenwälle (Höttingerbreccie bei Innsbruck ?), oder endlich auch die wiederverbundenen, groben Auswurfsmaterialien vulkanischer Eruptionen *(vulkanische Breccie).* — Diese Entstehungsweisen bringen es mit sich, dass die Breccien nicht sehr mächtig und auch nicht sehr allgemein verbreitet sein können; bald werden sie nur einerlei Trümmermaterial enthalten (monogene Breccien), bald mehrererlei (polygene Breccien). Im einzelnen kann nach der Gesteinsart der eckigen Bruchstücke gesprochen werden von *Quarz-, Kalk-, Dolomit-, Serpentin-, Gneiss-, Granit-, Porphyr-Breccien* etc. Bekannt sind

z. B. die Quarzitbreccien (Verrucano) von Mels, von Arzl im Pitzthal und von der goldenen Aue bei Wörgl (Tirol), die vorzügliche Mühlsteine liefern, aber auch für Treppenstufen, Postamente und Portale verwendet werden. Der Kitt ist entweder feinster Gesteinsschutt, -Schlamm oder -Staub, oder ein mineralisch homogenes, kieseliges (Sand), kalkiges, mergeliges, thoniges oder eisenschüssiges Bindemittel. Es ist naheliegend, dass z. B. in den letzten drei Fällen der Zusammenhang kein besonders solider ist und die Festigkeit des Gesteins in Bälde erschüttert sein wird, wenn dasselbe anhaltend mit Wasser in Berührung bleibt. Besteht der Cement dagegen aus Kiesel oder Kalk und ist die Verkittung eine vollkommene, nicht bloss partielle, so lassen sich die Breccien sehr gut auch als Bausteine benutzen (z. B. die Höttingerbreccie in Innsbruck); sie werden häufig geschliffen und poliert, zu oft äusserst effektvollen Dekorationssteinen (»Marmore«!), die sowohl architektonisch, sowie auch als Schmucksteine gerne verwendet werden. Dass hierüber in einzelnen Formationen und Ländern eine ziemliche Auswahl besteht, mag nachfolgende Zusammenstellung*) bekannterer Vorkommnisse von *Kalkbreccien* darthun:

1. Breccien des krystallinen Grundgebirges.

Griechenland: Breccie von Skyros, taubeneigrosse, rosafarbene und weisse Kalktrümmer in braunem bis violettem Kitt.

2. Breccien der Karbonformation.

Belgien: Brèche Herculanum, verschieden dunkle, graue bis rotbraune, polierbare Kalkbreccie, für Innendekorationen.

3. Breccien der Triasformation.

Italien: Marmo africano di Recoaro, weisse, rote, gelbe, graue und schwarze Fragmente in breccienartigem Verbande mit weissen Adern; für Säulen und Möbelplatten der Innendekoration. *Moscato di Bergamo,* weisse und rote, auch graue oder bläuliche Trümmer in rotem Kitte. *Breccia di Serravezza* (Brèche violette) weisse, gelbe, graue, blaue krystallinische Bruchstücke in violettem Kitte; sehr schön; in grossen Blöcken

*) Vergl. auch H. Schmid, die modernen Marmore und Alabaster.

lieferbar (Wien, Paris). *Paonazzo variegato di Stazzema,* weisse, rote, azurblaue und gelbbraune, krystallinische Fragmente in violettem Kitt, schön polierbar und in grossen Blöcken zu gewinnen. *Paonazetto di Carrara* (Breccia Petarocchia), weisse, gelbe, braune, krystallinische Trümmer in violettem Kitte, prächtig geeignet für Postamente, Pilaster, Säulen. *Breccia gialla di Santa Maria,* gelbe und weisse Fragmente in gelbem und violettem Kitte; in Lucca und Umgebung zur Kirchendekoration verwendet.

Österreich: Breccie von Assling, fleischrote Fragmente in graugelbem Grunde, auch weiss geadert, für Altäre und Grabsteine. *Breccie von Pflersch,* rosafarbene, grüne, gelbe, schwarze und weisse Bruchstücke in grauem Grunde, weiss geadert, für Tischplatten.

Schweiz: Rouge jaspé von Yvorne, weisse, gelbe und lackrote Fragmente in fleischrotem Kitt, prächtig für Innendekoration.

4. Breccien der Juraformation.

Frankreich: Brèche Saint Antonin (Brèche impériale), in gelbem Grunde liegen weisse, schwarze, rote und braune Fragmente; schönes antikes Material; für Säulen und Verkleidungen in Paris und Wien. *Brèche de Bize* (Brèche nouvelle), schwarze und rosafarbene Bruchstücke in gelbem Grunde. *Brèche noire de Baudéan,* weisse, graue und schwarze Fragmente in rötlichgelbem Kitte. *Brèche Port'or de Troubat,* weisse und schwarze, auch graue Bruchstücke in goldgelbem Kitte; weiss geadert, in grossen Blöcken lieferbar.

Österreich: Breccie von Fahrafeld, in drapfarbenem Kitte liegen weisse und graue Trümmer, seit Jahren sehr beliebt in Wien.

Schweiz: Macchia vecchia von Arzo-Mendrisio, in grauem Grunde sitzen grosse rote Trümmer, weiss oder grün geadert und gefleckt. *Brèche noire de Saint Triphon,* schwarze Fragmente in grauem Kitte, für Marmor- und Bildhauerarbeit geschätzt; in grossen Blöcken zu gewinnen.

5. Breccien der Kreideformation.

Frankreich: Brèche Medoux (Brèche jaune ou universelle), weisse, gelbe, graue, bläuliche und schwarze Bruchstücke in

lebhaft gelbem Grunde. *Brèche orientale* (Brèche Portugal), ein weisser bis grauer Kitt vereinigt schwarze, gelbe, graue Fragmente, für Verkleidungen.

Italien: Pietra ruiniforme di Firenze (Pietra Paesina), gelblichgrauer, politurfähiger Mergelkalk mit rotbraunen, zackigen Zeichnungen, ähnlich Mauerruinen, für Schmuckgegenstände zu verwenden. *Marmo brecciato di Ornaro,* auf rotem Grunde gelbe und weisse Flecken, für Säulen, Altäre in Rom.

Österreich: Klosterneuburger Marmor, graugelber Mergelkalk, mit dunkler, ruinenartiger, roter Zeichnung; im Kunstgewerbe verwendet. *Breccia Gugliana,* weisse, schwarze und bunte Fragmente in dunkelgrünem Grunde; schon im alten Rom benutzt, jetzt für Grabsteine, Fussbodenbelege etc. im Küstenlande. *Breccia Merala,* in braunem Kitte fleischrote, weisse und schwarze Trümmer; besonders für Altäre verwendet.

Tunis: Brèche d'Afrique (Rouge Numidie), lichtbraungelbe Fragmente in dunkelrotbraunem Grunde; in bedeutend grossen Stücken gewonnen neben diversen anderen Breccien in den antiken Brüchen von Schemtou.

B. Konglomerate.

(Die Trümmer sind von mehr als Erbsengrösse und abgerundet).

Sie repräsentieren verkittetes Bach- und Flussgeschiebe, sind also Fluss- und Uferbildungen, bald monogener, öfter polygener Art, und viel allgemeiner und weiter verbreitet, als die Breccien, wiederum durch alle Formationen. Nach der Art der Rollstücke unterscheidet man auch hier zwischen Quarzit-, Kalk-, Gneiss-, Granit-, Trachyt-, Basalt-Konglomerat etc.; das Bindemittel kann abermals kieselig, sandig, kalkig, mergelig, thonig oder eisenschüssig sein, wobei die Reihenfolge im Sinne der abnehmenden Solidität der Bindung gegeben ist; neben totaler kommt auch bloss teilweise Verkittung vor.

Die Rundheit der Fragmente bedingt hier im allgemeinen eine etwas geringere Festigkeit, als bei den Breccien. Konglomerate der Silur-, Devon- und Dyasformation sind in ihren deutschen Verbreitungsgebieten geschätzte Bau- und Pflästerungsmaterialien. Mit der geologischen Jugend nimmt die bautechnische

Verwendbarkeit ab; immerhin gelten auch einzelne ältere Vorkommnisse tertiärer Konglomerate aus der schweizerischen Molasse, die *polygene* (bunte) und die *Kalknagelfluh* und besonders der sogenannte »*Appenzellergranit*« der Ostschweiz, (eine kleinkörnige Kalknagelfluh mit reichlichem Kalkbindemittel) noch als gute bis vorzügliche Bausteine für Rohmauerwerk, Treppenstufen, Wehrsteine, geschliffen und poliert ehedem auch als wirksame Dekorationssteine für Monumente etc. In ähnlichem Sinne ist ferner der Puddingstein aus dem Tertiär (Eocän) Englands, ein buntes Feuerstein- oder Flintkonglomerat mit reichlichem quarzitischem Bindemittel, als äusserst festes, dekoratives Material bekannt.

Aus älteren Formationen seien als *Kalkkonglomerate* noch beigefügt:

1. Aus der Devonformation.

Frankreich: Griotte de Caunes, in tiefrotem Kitte lebhaft kirschrote Mandeln, mit vereinzelten weissen Versteinerungen (»Oeil de perdrix«). *Griotte fleuri,* tiefrote Mandeln in dunkelgrünem Kitte. *Griotte verte de Caunes,* tiefrote Mandeln in überwiegendem, spärlich weiss geadertem Cement. *Mélangé de Caunes,* blassgrüne Mandeln in grünrotem Kitt. *Rosé vif de Caunes,* rosenfarbene Mandeln in grünem Kitt mit spärlicher weisser Aderung. *Campan rouge, C. vert, C. mélangé, C. Isabelle* und *C. rosé* mit roten, grünen, bunten, rosenfarbigen Mandeln (mit oder ohne dunkeln Kern) in grünem, grau- bis weissgeadertem Kitt; alle in mannigfacher und ausgedehnter Weise infolge ihrer prächtigen Farbeneffekte in Luxusbauten zur Innendekoration verwendet (Paris, Berlin, Wien).

2. Aus der Juraformation.

Frankreich: Griotte de Sost, tiefrote Mandeln mit rotem Kitte und vereinzelten weissen Flecken. *Rouge Moulin de Sost,* feurigrote Mandeln in grünem Kitte, für Säulen, Verkleidungen und andere Innendekorationen (in Berlin, Barcelona.) *Rosé vif de Sost,* rosenfarbene Mandeln mit weissen Streifen; viel verwendet in grossen Stücken. *Brocatelle violette* und *Brocatelle jaune:* in violetter bis graugelber Kittmasse liegen zahlreiche,

weisse, durchsichtige Bröckchen von krystallinischem Kalke; soll das altberühmte *Brocatello di Spagna* von Tortosa (Spanien) in der Innendekoration ersetzen.

Italien: Brocatello di Siena, auf dunkel pfirsichfarbenem Grunde kleine, weisse und gelbe Mandeln.

Schweiz: Rosso (»Brocatello«) d'Arzo, weisse, meist eckige und sternförmige Echinodermenreste in reichlichem rotem, seltener grauem Kitte; sehr geschätzt für Altäre, Kamine, Monumente (Wien). — Die jüngere miocäne Nagelfluh der Voralpen und der schweizerischen Hochebene, desgleichen die »löcherige« Nagelfluh der diluvialen Ablagerungen sind nur locker verkittet, und werden leicht zu vorzüglichem Strassenbeschotterungsmaterial verkleinert.

C. Die Sandsteine.

Sie sind aufzufassen als wiederverkitteter Fluss-, See- oder Meersand. Die relative Kleinheit der bald eckigen, bald zugerundeten, auch oberflächlich löcherigen Körner lässt erkennen, dass ein längerer Wasserweg hinter ihnen liegt, auf welchem Transporte weichere Mineralgebilde zertrümmert wurden. Nur härtere Mineralien konnten sich erhalten. Ein Sandstein besteht daher vorwiegend aus grösseren oder kleineren Quarzkörnern; Körner von Feldspath, Granat, Augit, Hornblende etc. spielen eine ganz nebensächliche Rolle.

Der *Quarzsandstein* (auch Krystallsandstein), wie er z. B. in der unteren Trias der Vogesen vorkommt (Vogesensandstein), baut sich nur aus Quarzkörnern auf, bei fast gänzlicher Abwesenheit von Kittmaterial. Dem gegenüber enthält die grobkörnige *Arkose,* die in der Nähe von Granit- und Gneissgebieten auftritt, auch noch viele, zum Teil kaolinisierte Feldspathkörner und spärliche Glimmerblättchen. Ihr steht substantiell am nächsten der sogenannte *granitische Sandstein* der Ostschweiz (Bolligen und Freienbach am Zürichsee, Wattwyl, Herisau, Trogen, St. Margarethen) mit den bunten Körnern der harten Gemengteile von Graniten und Quarzporphyren. In *Glimmersandsteinen* machen sich helle Glimmerblättchen auffallend bemerkbar und bahnen durch ihre parallele Lagerung oft schieferige Textur an. — Neben lokalen Anhäufungen des einen oder anderen

der genannten Gemengteile finden sich in Sandsteinen gelegentlich auch grüne, gelbliche oder rote Einschlüsse von Thon (Thongallen), kleinere oder grössere Konkretionen von Eisenkies (Rostflecken!), Steinkerne von Muscheln und Schnecken (Muschelsandstein, mariner Sandstein) oder Abdrücke von Blättern und anderen Pflanzenteilen (Süsswassersandstein).

Ausschlaggebend für die Qualität der Sandsteine ist aber vor allem die *Natur des Bindemittels.* Darnach unterscheidet man:

Kieselsandstein mit kieseligem Bindemittel, welches zuweilen so reichlich vorhanden ist, dass die Körner an Masse sichtlich zurücktreten und das ganze wie angeschmolzen aussieht (Keupersandstein von Schleitheim). In der Farbe weiss oder grau, ist er von grösster Härte und Dauerhaftigkeit, besonders geeignet und auch überall verwendet zur Herstellung von Mühl- und Schleifsteinen. —

Kalksandstein mit einem Bindemittel von krystallinischem kohlensaurem Kalk (bis auf 25 %). Bei Behandlung mit Säuren braust er auf; in der Fabrikstadtatmosphäre, in feuchtem Klima und im Wasser beginnt er zu leiden und wird allmälig porös. Im Trockenen verwendet ist er im übrigen ein vorzüglicher, weisser oder grauer Baustein, bei Steinmetzen und Baumeistern besonders beliebt, weil fest, dauerhaft und leicht zu bearbeiten.

Mergelsandstein und *Thonsandstein,* mit mergeligem oder thonigem Bindemittel, ein Süsswassergebilde aller Zeiten, darum häufig zu treffen und viel verwendet. Beide zeigen nach dem Anhauchen Thongeruch, der erstere braust ausserdem in Säure auf; ihre sehr wechselnde, jedoch immer bescheidene Festigkeit und Dauerhaftigkeit steht in umgekehrtem Verhältnis zur Menge des Bindemittels. Im Wasser können sie aufgehen und weich werden; sie sind daher nur im Trockenen zu verwenden. Die Gesteinsfarbe ist grau, grünlich, gelblich, rot, auch fleckig und gestreift, je nach der Art und Verteilung beigemischter Eisenverbindungen (gewöhnliche Molassesandsteine der Schweiz).

Ockersandstein, Rotsandstein und *Buntsandstein* besitzen entsprechende, eisenschüssige thonigkalkige Bindemittel. Sie sind in allen Graden von Festigkeit und Dauerhaftigkeit besonders in der Dyas- und Triasformation anzutreffen und werden um

der Farbeneffekte willen als Bausteine in Mittel- und Süddeutschland, sowie im Elsass viel verwendet. — Der *Grünsandstein* (Glaukonitsandstein) enthält im mergeligen Bindemittel ein körniges, weiches, grünes, chloritähnliches Eisen-Aluminiumsilikat (Glaukonit), das durch Verwitterung gern sich bräunt. In der Schweiz liegt er mancherorts an der Basis der tertiären Sedimente und schliesst oft Nummuliten ein. (Nummulitensandstein von Einsiedeln und Wesen, Sandsteine aus der Umgebung von Dornbirn im Vorarlberg: beliebte Pflastersteine). *Asphaltsandstein* (Stinkstein) führt ein bituminöses Bindemittel, tritt in der Nähe jüngerer Kohlenflötze auf; er kann mitunter zur Asphaltgewinnung benutzt werden (Val Travers).

Neben der Natur des Bindemittels ist aber der *Verkittungsgrad* nicht ausser acht zu lassen, ein Gesichtspunkt, dem in der Technik gewöhnlich viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird, der aber stets vor allem aus experimentell geprüft zu werden verdiente. Er ist für alle Arten von Sandsteinen ausschlaggebend für die Haltbarkeit. Ist die *Verkittung eine totale,* das Material somit *dicht,* so wird es kein Wasser in sich aufnehmen. Wie letzteres bloss an der Oberfläche haften bleibt, so können auch die übrigen atmosphärischen Agentien nur oberflächlich wirken. Eine Zerstörung vermag daher bei der Ungunst des Materials nur langsam fortzuschreiten. Ganz anders die nur *particll verkitteten, undichten* (porösen) Sandsteine. Diese saugen in ihre Poren das Wasser auf und öffnen damit allen chemischen und physikalischen Angriffen desselben, sowie der Arbeit der Winterfröste, Thür und Thor. Sie bersten und spalten, sanden und blättern ab; thonige, mergelige und kalkige Bindemittel sind geeignet, das leidige Zerstörungswerk mehr oder weniger zu beschleunigen. Nur zu oft bietet sich Gelegenheit, an Bauwerken dasselbe in allen Stadien zu erkennen! — Auf dichten Sandsteinen bleibt ein Tropfen Wasser oder Tinte unzerteilt haften; auf undichten wird er rasch aufgesaugt und zerfliesst daher schnell nach allen Seiten.

Die Sandsteine sind in der Natur in mehr oder weniger mächtigen, zuweilen schief gestellten Schichten abgelagert, meist im Wechsel mit Konglomeraten, Thonen, Mergeln oder Kalken. Fast immer zeigen sie senkrecht zur Schichtung eine Klüftung, wodurch sie in regelmässiger Weise in Quader (Quadersandstein)

oder Säulen zerfallen, was die Ausbeutung im Steinbruch bedeutend erleichtert. — Angesichts der Entstehungsweise liegt es nahe, dass das Material in seiner Qualität stark wechselt, oft mit jeder Schicht, sogar innerhalb der einzelnen Schicht. Wenn irgendwo, so ist hier häufige und wiederholte Prüfung des Baumaterials sehr am Platze. Frisch aus dem Bruche kommend, besitzen die Sandsteine meist viel Bergfeuchtigkeit und lassen sich dann leicht bearbeiten. Beim Trocknen an der Luft werden sie allmälig härter und fester, ändern dabei aber immer ihre Farbe, von grau in blau, von dunkelrotbraun in hellrot oder braungelb, zuweilen werden sie dabei fleckig.

Wie die übrigen Trümmergesteine, so konnten auch die Sandsteine sich bilden seit den ältesten Zeiten unseres Planeten; in allen Formationen der Erdrinde kommen sie vor, oft in grosser Ausdehnung und Mächtigkeit. So werden sie sowohl für Hoch- und Tiefbau, als auch für die Skulptur von hohem Werte. Zahllose öffentliche und private Bauten aus alter und junger Zeit, die herrlichen Burgen und Schlösser am Rhein, die mächtigen Dome Deutschlands und der Schweiz, altehrwürdige Denkmäler, Mauern und Türme legen weit und breit Zeugnis dafür ab, dass der Sandstein, wie kaum ein zweites Gestein, von jeher von der bauenden und bildenden Hand des Menschen mit Vorliebe benutzt wurde. Die Zahl der Steinbrüche, die den Sandstein abbauen, ist eine ausserordentlich grosse; ihre jährliche Ausbeute ist grösser als die aller anderen Baumaterialien zusammen genommen (vergl. z. B. Hugo Koch, die natürlichen Bausteine Deutschlands, Berlin 1892). — Aus den einzelnen Formationen mögen noch folgende bekanntere Sandsteinarten hervorgehoben werden:

1. Silur- und Devonformation.

Der *Grauwackensandstein,* ein grauweisser, bisweilen gefleckter Sandstein mit vorwiegend kieseligem Bindemittel, auch Feldspath und Glimmer führend, meist sehr hart und schwer zu bearbeiten, ein ausgezeichnetes Material für Hoch- und Tiefbau, Façaden, Säulen, Gesimse, für Strassenpflaster und Chaussierung, auch ein feuerfester Hochofen-Gestellstein; in der Rheinprovinz, in Westfalen, Nassau und Norddeutschland am meisten verwendet; rheinische Mühlsteine. — Das Bindemittel kann bisweilen mergelig, thonig oder eisenschüssig sein in ungünstigeren Qualitäten.

2. Karbonformation.

Der *Kohlensandstein,* ein hell- bis dunkelgrau gefärbter, manchmal arkosenartiger Sandstein mit meist thonigem Bindemittel, darum weniger hart und widerstandsfähig als der vorige, mit dem er ungefähr die Verbreitung teilt (»Ruhrsandstein«); grobkörnige Sorten geben Mühlsteine; gewöhnlich ein gutes Material für Strassenanlagen (Hamburg, Magdeburg, Leipzig, früher auch Berlin).

3. Dyasformation.

Der *Dyassandstein* ist ein meist grobkörniger Quarzsandstein mit gewöhnlich thonigem, mehr oder weniger eisenschüssigem Bindemittel; kalkiges oder kieseliges Bindemittel ist seltener. Die Farbe ist meist rot, mit abnehmendem Eisengehalt auch gelb, grün, grau oder weiss. Die Festigkeit ist ungemein wechselnd, sinkt bis zur Zerreiblichkeit; rote feinkörnige Sorten sind sehr hart und fest. Man bricht sie in den Vogesen, im Schwarzwald, Odenwald, in der Pfalz, im Spessart, Thüringerwald, Fichtelgebirge und Riesengebirge für Quadersteine, Deckplatten, zu Pflästerung und Beschotterung. — Hieher gehören auch viele der feinkörnigen roten »*Ackersteine*« (Verrucano) vom St. Galler- und Bündner-Oberland, vom Südufer des Wallensees und aus dem nordostschweizerischen Erratikum, sowie der rote *Grödenersandstein* aus der weiteren Umgebung von Bozen.

4. Triasformation.

Die *Buntsandsteine* sind meist gleichmässig feinkörnige Quarzsandsteine mit kieseligem oder thonigem, weniger oder mehr eisenschüssigem Bindemittel, weshalb die Farbe wiederum wechselt von weiss durch rot zu gelb, braun und bunt, auch gefleckt (Tigersandstein). Die tieferen Lagen sind gern grobkörniger, im Thüringerwald bei weisser Farbe so stark kaolinhaltig, dass sie zu Kaolinlieferanten der dortigen Porzellanmanufaktur werden. In mittleren und oberen Lagen hingegen sind die Buntsandsteine sehr geschätzte Bausteine, die sich in frischem Zustande leicht und fein bearbeiten lassen; beim Austrocknen an der Luft werden sie härter und erhalten eine schöne gelbbraune Patina. (Münster von Basel, Strassburg, Freiburg,

Mainz, Worms, Speyer, Heidelberger Schloss; viele Monumente). In neuerer Zeit werden sie auch in der Schweiz mehr und mehr eingeführt (Zürich). — In Plattenform liefern sie Wandbekleidungen und Flurplatten (Höxtersteine, Sollinger Fliesen); in Mitteldeutschland endlich dienen sie auch zu Schleif- und Mühlsteinen. — Verbreitung nahezu wie beim vorigen.

Der *Keupersandstein* hat thoniges Bindemittel und bei meist feinem Korne graue, grüne, rote bis gelbe Färbung, auch gefleckte und gestreifte. Man benutzt ihn in seinen Verbreitungsgebieten, namentlich in Bayern, Württemberg, Thüringen, Lothringen, am Rhein und an der Weser als Quader-, Bruch- und Haustein ganz allgemein zum Häuserbau, auch ornamental, sowie für Pflästerung und Beschotterung der Strassen. — Kieselige Sorten liefern wiederum Schleif- und Mühlsteine; Sandsteine von Schleitheim (Schaffhausen).

5. *Juraformation.*

Die *Jurasandsteine* haben entweder eisenschüssige oder thonige bis mergelige Bindemittel bei feinem Korn, hellgelber, braungelber bis braunroter Farbe und sind dann weniger geschätzt; in den unteren und obersten Juraschichten sind sie arm an Bindemittel, weiss, mittelkörnig und so ein vorzügliches Baumaterial, das in Mittel- und Norddeutschland sehr geschätzt ist; Obernkirchnersandstein von Bückeburg, Baustein von Hannover, Bremen, Hamburg.

6. *Kreideformation.*

Der *Quadersandstein* ist ein fein- bis grobkörniger, weisser bis gelbbrauner Sandstein mit kieseligem oder thonig-mergeligem Bindemittel, der in Centimeter bis zu mehrere Meter mächtigen Schichten mit Vertikalklüftung (abgesondert in Quader) abgelagert ist am Nordrande des Harzes, in der sächsischen Schweiz (Elbesandstein), in der Lausitz, in Schlesien, im Thüringer- und Teutoburgerwalde. Die feinkörnigen kieseligen Sorten geben ein ausgezeichnetes, festes und ungemein dauerhaftes Material für feinere Steinmetz- und Bildhauerarbeiten (Gesimse, Säulen, Monumente, Statuen); grobkörnige liefern Treppenstufen, Fenster- und Thürverkleidungen, dienen zu Festungsbauten, Brücken, Fluss- und Uferbauten; noch gröbere Quarzsandsteine werden

zu sehr harten Mühl- und Schleifsteinen verarbeitet. — Die weissen und gelben Elbesandsteine, die man zu Schiff verfrachtet, sowie die schlesischen Sorten, sind Hauptbausteine von Dresden, Leipzig, Magdeburg, Berlin und Hamburg. Bei thonigem Bindemittel können sie nur im Innern von Gebäuden Anwendung finden.

Der *Plänersandstein* aus dem mittleren Böhmen (Lippenz), welcher besonders in Prag als Baustein verwertet wird, ist ein weicher, feinkörniger Kalksandstein.

Der *Grünsandstein* (siehe pag. 59) gehört in Vorarlberg, (Dornbirn), Bayern, (Sonthofen, Regensburg, Kehlheim), Böhmen, Sachsen, Schlesien zu den geschätztesten Pflaster-, Schleif- und Bausteinen, die z. B. in München und Regensburg zu den vornehmsten öffentlichen und Privatbauten Verwendung fanden.

7. Tertiärformation.

Der *Wienersandstein,* graugelb bis blaugrau, feinkörnig, ist ein Kalk- bis Mergelsandstein, zuweilen (in der Umgebung von Wien) dünnschieferig mit Glimmerblättchen auf den Schieferungsflächen und dann nur von geringem Werte (Bruchstein), meist aber hart und wetterfest, weshalb er in den grossen Städten Österreich-Ungarns zu Monumentalbauten, sowie auch zu Fundamentierungen und zu Flussbauten (Donau) benutzt wird.

Der *Nummulitensandstein* des Eocäns ist entweder ein schwärzlicher, feinkörniger Kalksandstein oder ein dunkelgrüner grober Glaukonitsandstein, mit zahlreichen Nummulitenschalen; bedeutende Brüche liegen besonders in den bayerischen Voralpen (Tölz), welche geschätzte Hau- und Bruchsteine, sowie Pflastersteine, Schleif- und Mühlsteine liefern.

Der *Flyschsandstein* der bayerischen Alpen (Fukoidenstein) ist ein feinkörniger, sehr harter, hellgrauer Kieselsandstein, vorzüglicher Mühlstein, Schleifstein und Pflasterstein (Sonthofen, Schwarzach im Vorarlberg). Ähnlich der graue »*Macigno*«, welcher in Oberitalien und Mittelitalien, sowie in der Umgebung von Triest, als wichtiger Bau- und Pflasterstein gilt.

Der *Molassesandstein,* der bekannte Sandstein der Schweiz, von blaugrauer bis gelblichgrauer Farbe, ist in sehr wechselnden Qualitäten vorhanden, meist ein Süsswassergebilde, oft auch

marinen Ursprungs (Muschelsandstein von Würenlos und Othmarsingen im Aargau, von Ostermundingen in Bern, Grès de Ralligen in Freiburg, vom Rooterberg bei Luzern, Freienbach in Schwyz, Bollingen und Buchberg in St. Gallen). Die einen sind als granitische Kieselsandsteine (St. Margrethen, Trogen, Herisau) den Grauwackensandsteinen zu vergleichen, vorzügliche aber schwer zu bearbeitende Materialien für Quadersteine, Thürpfosten, Treppenstufen, Marksteine, Strassenpflaster; andere bieten als mergelige bis Kalksandsteine, roh und behauen, Bausteine von vielseitigem, allgemeinstem Verbrauch (Rorschachersteine, Bächersteine etc.), die, immerhin in trockener Lage, von grosser Dauerhaftigkeit sein können, während die vielen thonigen Sandsteine, als geringste Qualität, in feuchter Lage noch rascher erweichen und im Winterfroste sehr bald zerstört werden, also nur einer beschränkten Anwendung, unter Dach, fähig sind. Die jüngsten unter ihnen (obere Süsswassermolasse von Zürich, Thurgau) sind noch von zu grosser Weichheit, als dass sie als Bausteine schon ernsthaft in Betracht kommen könnten. — Bei der Mehrzahl der Molassesandsteine bedarf es bezüglich chemischer Zusammensetzung des Bindemittels, sowie hinsichtlich Festigkeit, Frost- und Wetterbeständigkeit, vielfach und wiederholter Kontrolle.

D. Vulkanische Tuffe.

Sie repräsentieren die wiederverbackenen Staub- und Aschenmassen vulkanischer Eruptionen, also ungefähr dieselben Substanzen, wie die zugehörigen Ergussgesteine. Meist sind sie porös; auch infolge des feinen Kornes der Zerstörung leichter zugänglich und stark zersetzt. Manche werden verwendet zur Herstellung von Luft- und Wassermörteln. Seit den Römerzeiten lieferten Tuffe von Quarzporphyren und Porphyren, von Lipariten und Trachyten am Rheine, in Ungarn, in Italien und Frankreich teilweise sehr günstig bewährte Baumaterialien. (Bimssteintuff, Puzzolan, Peperino, Trass). In jüngster Zeit bereitet man beispielsweise einen Mörtel von ganz ungewöhnlich hoher Zug- und Druckfestigkeit aus dem Liparittuff von Nagy Kartal bei Assod (Ungarn).

VIII. Resultate der Untersuchung der natürlichen Bausteine.

1. Resultate der Untersuchung der Produkte der schweiz. Industrie natürlicher Bausteine nebst einiger Importwaren.

Aus den Jahren 1883 bis einschliesslich 1899.

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Eigentümer od. Pächter des Bruches (bezw. Antragsteller der Untersuchung)	Geologische Bezeichnung
		1. Granitartige Gesteine.		
			Kanton Aargau.	
1	1883	Wohlen a. d. Reuss	M. Comolli, Bremgarten	Erratische Blöcke
			Kanton Tessin.	
2	1883	Osogna	Mich. Antonini, Goldau	primär
3	1886	Lavorgo	J. Capré & P. Ortelli, Aigle	"
4	1887	»	» » »	—
5	1887	Osogna	Mich. Antonini, Goldau	—
			Kanton Uri.	
6	1883	Wassnerwald b. Gurtnellen	(Ing. Gisler, Altorf)	—
7	1887	» »	M. Antonini, Wassen	—
8	1888	unterhalb des Urnerloch	(Eidg. Geniebureau, Bern)	—
9	1888	Andermatt	(» » »)	—
10	1889	Gotthard b. Andermatt	A. Schuppisser, Bildhauer	
11	1895	Wassen	M. Antonini, Wassen	—
12	1895	b. Urnerloch-Andermatt	Unbekannt	—
			Kanton Wallis.	
13	1883	Collombey	Société des Carrières d. St. Triphon et d. Collombey	Erratische Blöcke
14	1883	Muguet au Rochey, Gemeinde Monthey	Bréganti & Co., Montey	» »
15	1896	bei Zermatt	(Haag & Greulich, Biel) (Gornergratbahn-Unternehmung)	archäisch
			Importwaren.	
16	1887	Tiefenstein (Baden)	Carloni, Tiefenstein	—
17	1887	» »	Rossi, Tiefenstein	—
18	1894	Baveno (Italien)	Nic. Della-Casa, Baveno	
19	1895	Serbien	(Miyatovic-Columbovsky & Co., Belgrad)	—
20	1896	»	(Magistrat der Stadt Belgrad)	—
21	1896	»	» » » »	—

Petrographische Bezeichnung	Raumgewicht δ	Spec. Gewicht γ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n'%	Porosität absolut n %	Verhalten des Materials in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ zum Lager	trocken ∥ zum Lager	nass ⊥ zum Lager	nass ∥ zum Lager	nach 25.-mal. Frosteinwrk. ⊥ z. Lag.	Erweich.-Koeff. $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
1. Granitartige Gesteine.												
Kanton Aargau.												
[illegible]grauer grobkörn. Gneiss-Granit	2,45	2,48	0,5	1,22	1,21	—	1418	—	—	—	—	—
Kanton Tessin.												
[illegible]grauer Antigorio-Gneiss	2,68	2,68	0,4	1,07	0,00	—	1053	—	—	—	—	—
Gneiss-Granit	2,62	2,63	0,6	1,57	0,38	—	1307	1243	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	—	1565	1470	—	—	—	—
Granit	—	—	—	—	—	—	1127	1122	—	—	—	—
Kanton Uri.												
[illegible]grauer Gneiss-Granit	—	2,63	0,5	-	—	—	1742	—	—	—	—	—
Granit	—	—	—	—	—	—	1516	1540	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	—	1820	1330	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	—	1470	1140	—	—	—	—
[illegible]grün. Serpentin. Chloritschief.	2,69	2,71	0,0	—	0,74	unverändert	2540	2570	—	—	—	—
Granit	—	—	—	—	—	—	1946	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	—	1861	—	—	—	—	—
Kanton Wallis.												
[illegible]grauer Gneiss-Granit	2,59	2,68	0,4	1,03	3,35	—	1360	—	—	—	—	—
» »	—	2,67	0,5	—	—	—	1005	—	—	—	—	—
Grünschiefer (Mineralreicher Amphibolit)	3,03	3,06	0,3	0,91	0,98	unverändert	1773	2070	1726	1645	1509	⊥ 1,0 ∥ 1,3
Importwaren.												
Granit	—	—	—	—	—	—	1176	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	—	1424	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	—	1750	1790	—	—	—	—
[illegible]ranisierter Glimmerdiabas	2,70	2,78	0,8	2,20	3,00	unverändert	1489	1413	1227	—	1330	1,2
Glimmerdiabas	2,68	2,84	0,9	2,40	5,60	»	1238	1164	1261	—	1290	1,0
[illegible]r Quarzandesit, porphyritisch	2,63	2,75	0,7	1,80	4,40	»	1876	1939	1500	—	1777	1,3

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Eigentümer od. Pächter des Bruches (bezw. Antragsteller der Untersuchung)	Geologische Bezeichnung
		II. Trümmer-Gesteine.		
		Kanton Aargau.		
22	1883	Meiengrün b. Othmarsingen	F. Ackermann-Wirz, Othmarsingen	Marine-Molasse
23	1883	Mägenwyl im Berg	Jos. Fischer, Dottikon	Molasse
24	1883	» » »	» » »	Marine-Molasse
25	1883	» » »	» » »	Molasse
26	1883	» » »	» » »	Marine-Molasse
27	1883	Gugglenberg b. Othmarsingen	Friedr. Marti, Othmarsingen	»
28	1883	Am Haselberg, Gem. Würenlos	Jos. Moser, Würenlos	»
29	1883	Neuenhof b. Baden	J. Schädler, Baden	»
30	1883	Maiengrün b. Mägenwyl	B. Seiler, Mägenwyl	»
31	1883	Eckwyl b. Mägenwyl	J. Widmer, Othmarsingen	»
32	1892	Mägenwyl	(Arch. G. Gull, Zürich)	»
33	1894	Busslingen b. Baden	(Mäder-Ruesch, Baden)	
		Kanton Appenzell.		
34	1883	Wolfhalden	J. U. Bänziger, Rheineck	Untere Süsswasser-Molasse
35	1883	»	» »	» »
36	1883	Lutzenberg, Gem. Wienachten	B. Benziger, Wienachten	Molasse
37	1883	» » »	J. Bischof, Grub	Untere Süsswasser-Molasse
38	1883	» » »	» »	Süsswasser-Molasse
39	1883	Bühler	J. Fisch, Bühler	Untere Süsswasser-Molasse
40	1883	Hargarten, Gemeinde Stein	J. Longoni, Herisau	Marine-Molasse
41	1883	Wienachten	Niederer, Wienachten	Molasse
42	1891	Rebstein b. Heiden	E. Rohner, am Bischofberg, Heiden	»
43	1892	Zweibrücken b. Rehetobel	J. Kölla, St. Gallen	»
44	1898	Zürchermühle	(L. Kürsteiner, St. Gallen)	»
45	1898	in Schachen, Gemeinde Herisau	(» »)	»
		Kanton Basel.		
46	1895	Maisprach	K. Graf-Rothpletz, Maisprach	—

Petrographische Bezeichnung	Raum-Gewicht δ	Spec. Gewicht γ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n'%	Porosität absolut n%	Verhalten des Materials in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ zum Lager	trocken ∥ zum Lager	nass ⊥ zum Lager	nass ∥ zum Lager	nach 25.-mal. Frosteinwirk. ⊥ z. Lag.	Erweich.-Koeff. β_t x $\overline{\beta_n}$
grauer Muschelsandstein	—	2,56	2,1	—	—	—	863	—	—	—	—	—
grauer zieml. feinkörn. Sandstein	2,36	2,57	3,5	8,3	8,2	—	298	—	—	—	—	—
grauer Muschelsandstein	2,50	2,50	1,9	4,8	—	—	549	—	—	—	—	—
bläulichgrauer mittelkörn. Sandstein	—	2,58	3,4	—	—	—	611	—	—	—	—	—
blaugrauer, ziemlich grobkörn. Muschelsandstein	2,55	2,61	1,5	3,8	2,3	—	500	—	—	—	—	—
grauer Muschelsandstein	—	2,61	1,5	—	—	—	649	—	—	—	—	—
gelblichgrauer Muschelsandstein	2,50	2,50	2,6	6,5	—	—	632	—	—	—	—	—
»	2,37	2,51	1,9	4,5	5,6	—	346	—	—	—	—	—
dunkelgrau. Muschelsandstn.	2,39	2,54	2,1	5,0	5,9	—	389	—	—	—	—	—
grobkörn. Muschelsandstein	2,55	2,58	1,5	3,8	1,2	—	935	—	—	—	—	—
blauer, feinkörn. Sandstein	2,54	2,69	3,2	8,2	5,6	unverändert	1154	—	691	—	576	1,7
Sandstein	—	—	—	—	—	—	355	340	204	155	—	⊥ 1,7 ∥ 2,2

Kanton Appenzell.

gelbl. u. mittelkörn. Sandstn.	2,38	2,53	2,5	6,0	5,9	—	405	—	—	—	—	—
hellgrauer, mittelkörn. Sandstn.	2,38	2,52	2,7	6,4	5,6	—	410	—	—	—	—	—
blaugrauer, mittelkörn. Sandstn.	2,45	2,62	2,1	5,1	6,5	—	505	—	—	—	—	—
blau, bläulichgrauer Sandstein	2,50	2,60	2,6	6,5	3,8	—	535	—	—	—	—	—
dgrauer, mittelkörn. Sandstein	2,49	2,64	1,8	4,5	5,7	—	755	—	—	—	—	—
blauer, feinkörn. Sandstein	2,75	2,75	0,9	2,5	–	—	1634	—	—	—	—	—
ellgrauer, feinkörn. Sandstein	2,70	2,73	0,3	0,7	1,1	—	1398	—	—	—	—	—
blauer, mittelkörn. Sandstn.	2,43	2,64	2,4	5,8	7,9	—	716	—	—	—	—	—
blauer, mittelkörn. Sandstn.	2,32	2,61	3,9	9,1	11,1	—	402	439	—	—	—	—
blauer zieml. grobkörn. Sandstein	2,42	2,66	3,6	8,7	9,0	—	613	—	—	—	—	—
Sandstein	2,66	—	0,8	2,0	—	—	1749	—	1520	—	—	1,2
Nagelfluh	2,74	—	0,4	1,1	—	—	1526	—	1514	—	—	1,0

II. Trümmergesteine.

Kanton Aargau.

grauer feinkörn. Thonsandstn.	2,23	2,66	7,4	16,5	16,1	erhebl. Ablösung.	504	332	333	169	—	⊥ 1,5 ∥ 2,0

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Eigentümer od. Pächter des Bruches (bezw. Antragsteller der Untersuchung)	Geologische Bezeichnung
			Kanton Bern.	
47	1883	Ostermundingen	Aktiengesell. f. d. Steinbrüche v. Ostermundingen	Marine-Molasse
48	1883	»	» » »	»
49	1883	Oberburg a. d. Emme, b. Burgdorf	Gebr. Lüthy, Burgdorf	»
50	1883	» » »	» » »	»
51	1883	Raggenfluh, Gem. Oberburg b. Burgdorf	N. Mühlethaler & Sohn, Kirchberg	Molasse
52	1883	Rothgrube in Oberburg	» » »	Marine-Molasse
53	1883	Stockern	Räber, Stockern	»
54	1883	Hof Harnischgut, Gem. Bolligen	J. Reber, Bolligen	»
55	1883	Ostermundingen	J. Zimmermann, Ostermundingen	»
56	1883	»	» »	»
57	1890	»	Aktiengesell. f. d. Steinbrüche v. Ostermundingen	»
58	1890	»	(Architekt H. Ernst, Zürich)	Molasse
59	1890	»	(» » »)	»
60	1897	Blauen	U. Flury, Mönchenstein	-
61	1897	»	» »	—
			Kanton Freiburg.	
62	1883	Maconnens (Glâne)	Fr. Beaud, Maconnens	Marine-Molasse
63	1883	Champotey, Gem. Echarlens	Jos. Belora, Echarlens	»
64	1883	Attalens (Veveyse)	M. Carminati, Attalens	Untere Süsswasser-M.
65	1883	Rochemard, Gem. Seiry (Broye)	Ed. Dubey, fils, Seiry	Marine-Molasse
66	1883	Vaulruz (Gruyère)	A. Masset, Vaulruz	Untere Süsswasser-M.
67	1883	Ursy (Glâne)	Alph. Vaucher, Ursy	Marine-Molasse
68	1883	Bauregard, Gemeinde Freiburg	Cl. Winkler & J. Fischer, Freiburg	
69	1883	» » »	» » »	-
70	1892	Freiburg	(Cl. Winkler-Guérig, Freiburg)	Molasse
71	1893	Vaulruz b. Bulle	A. Masset, Vaulruz	-
72	1894	Broc b. Bulle	(Conseil Communal Bulle)	—
73	1894	Villars-sur-Glâne b. Freiburg	(Ad. Fraisse, Freiburg)	Molasse
74	1896	Bollion	F. Pillonel, Seiry (Ing.- u. Arch.-Verein Freib.)	wahrscheinl. Marine-M.
75	1896	Bonnefontaine	N. Egger, Bonnefontaine	» »
76	1898	Claveyres près Vauderens	A. Motto & P. Dupraz, Rue	Molasse

Petrographische Bezeichnung	Raumgewicht δ	Spec. Gewicht γ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n'%	Porosität absolut n%	Verhalten des Materials in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ zum Lager	trocken ∥ zum Lager	nass ⊥ zum Lager	nass ∥ zum Lager	nach 25.-mal. Frosteinwrk. ⊥ z. Lag.	Erweich.-Koeff. β_t x β_n
Kanton Bern.												
[illegible]lichgrauer, mittelkörn. Sandstn.	2,21	2,54	5,2	11,5	13,0	—	325	—	191	—	—	1,7
[illegible]lichgrauer, feinkörn. Sandstein	2,30	2,53	5,4	12,4	9,1	—	306	—	181	—	—	1,7
[illegible]gelblichgrau., mittelkörn. Sandstein	2,22	2,54	5,7	12,6	12,6	—	230	—	88	—	—	2,6
[illegible]lichgrauer, mittelkörn. Sandstn.	2,19	2,52	5,8	12,7	13,0	—	144	—	86	—	—	1,7
grünlichgrauer, ziemlich feinkörniger Sandstein	2,30	2,50	5,5	12,6	8,0	—	317	-	162	—	—	1,9
[illegible]lichgrauer, feinkörn. Sandstn.	2,25	2,41	4,2	9,4	6,6	—	363	—	306	—	—	1,2
[illegible]lichgrauer, mittelkörn. Sandstn.	2,20	2,53	6,3	13,8	13,0	—	203	—	—	—	—	—
[illegible]lichgrauer, mittelkörn. Sandstn.	2,27	2,59	5,5	12,5	12,4	—	279	—	132	—	—	2,1
» » »	2,27	2,57	5,3	12,0	11,7	—	268	—	181	—	—	1,5
[illegible]lichgrauer, mittelkörn. Sandstn.	2,28	2,50	5,5	12,5	9,0	—	327	—	152	—	—	2,1
[illegible]lichgrauer, mittelkörn. Sandstn.	2,21	2,67	7,5	16,5	17,2	erhebl. Ablösung.	287	244	—	—	—	—
[illegible]grauer, mittelkörn. Sandstein	2,15	2,65	6,6	14,2	18,9	» »	342	—	218	—	—	1,6
[illegible]grauer, mittelkörn. Sandstein	2,17	2,66	6,9	15,0	18,4	» »	251	—	170	—	—	1,5
Sandstein	—	2,62	12,3	—	—	» »	198	—	149	—	90	1,3
[illegible]ber, feinkörn. Sandstein	—	2,68	7,6	—	—	» »	327	—	213	—	142	1,5
Kanton Freiburg.												
[illegible]grauer, mittelkörn. Sandstein	2,22	2,54	6,7	14,8	12,6	—	171	—	—	—	—	—
[illegible]grauer, feinkörn. Sandstn.	—	2,67	0,6	—	—	—	884	—	—	—	—	—
[illegible]grauer, mittelkörn. Sandstn.	2,65	2,71	0,8	2,1	2,2	—	1629	—	—	—	—	—
[illegible]lichgrauer, ziemlich [illegible]körn. Muschelsandstein	2,41	2,60	1,0	2,3	7,3	—	418	—	—	—	—	—
[illegible]grauer, mittelkörn. Sandstn.	2,40	2,62	1,7	4,1	8,4	—	1101	—	—	—	—	—
[illegible]grauer, feinkörn. Sandstn.	2,27	2,51	5,6	12,7	9,5	—	215	—	—	—	—	—
[illegible]lichgrau., feinkörn. Sandstn.	2,22	2,54	6,0	13,3	12,6	—	355	—	200	—	—	1,8
[illegible]grau., feinkörn. Sandstn.	2,24	2,52	5,4	12,1	11,1	—	306	—	170	—	—	1,6
[illegible]grauer, feinkörn. Sandstn.	2,06	2,69	7,2	19,4	23,4	—	388	—	—	—	—	—
[illegible]grauer, feinkörn. Sandstn.	2,61	2,68	1,4	3,7	2,6	—	1418	—	—	—	—	—
Sandstein	--	--	1,6	—	—	unverändert	--	--	—	--	—	—
»	—	—	8,4	—	--	Spur v. Ablösung.	178*)	—	—	—	253*)	—
[illegible]lichgrauer, grobkörn. Muschelsandstein	2,46	2,68	2,2	4,7	8,2	» » »	538	615	335	—	329	1,6
[illegible]grauer, feinkörn. Sandstein	2,29	2,66	5,3	12,2	13,9	erhebl. Ablösung.	501	370	216	—	171	2,3
[illegible]ber, [illegible]nmerweicher Sandstn.	—	2,69	—	—	—.	geringe Ablsng.	441	—	--	--	—	-

*) Die Probekörper wurden offenbar nicht aus ein und demselben Blocke entnommen.

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Eigentümer od. Pächter des Bruches (bezw. Antragsteller der Untersuchung)	Geologische Bezeichnung
		Kanton Luzern.		
77	1883	Rooterberg, Gemeinde Root	Ign. Herzog & Sohn, Root	Marine Molasse
78	1883	Dierikon am Rooterberg	Xav. Meier, Luzern	» »
79	1891	Tannenweidli (Gde. Escholzmatt)	(Kirchenbau-Kommission Escholzmatt)	Molasse
80	1891	» » »	» » »	»
81	1891	» » »	» » »	»
82	1892	» » »	» » »	»
83	1895	zwischen Luzern-Immensee	(Ing. Galli & Cie., Meggen)	—
84	1897	Schüpfheim	(F. Keiser, Unternehmer, Zug)	Molasse
		Kanton Schaffhausen.		
85	1883	Altorf-Reiath	Wwe. Doll, Altorf	Marine Molasse
86	1883	Oberhallauer-Berg	H. Graf, Oberhallau	Keuper
87	1883	» »	» » »	»
88	1883	Sewisteinbruch, Gem. Schleitheim	Gebr. Stamm, Schleitheim	»
89	1883	» »	» » »	»
90	1883	» »	» » »	»
91	1898	Hemmenthal	(J. Hösli, Pflästerm., Glarus)	—
		Kanton Schwyz.		
92	1883	Walliserberg, Freienbach	G. Nötzli, Freienbach	Marine Molasse
93	1896	Immensee	Catella & Co., Walchwyl	» »
94	1896	»	» » » »	» »
95	1898	Seewen-Schwyz	W. Hörrmann, Lachen	—
		Kanton St. Gallen.		
96	1883	Buchen bei Staad	V. Bärlocher, Buchen	Molasse
97	1883	Bolligen bei Schmerikon	J. Feurer, Bolligen	Marine Molasse
98	1883	Schlipf, Gemeinde Thal	J. Gasser, Buchen bei Staad	Molasse
99	1883	Oberbollingen, Gem. Jona	Kuster & Murer, Oberbollingen	»
100	1883	Wolfhaag, Gem. Degersheim	Wwe. Lehner-Wolfhaag	Mittel-Tertiär
101	1883	Oberbollingen, Gem. Jona	W. Meier, Oberbollingen	Molasse
102	1883	Ulisbach, Gem. Wattwyl	H. Meier, Wattwyl	Unt. Süsswasser-M

Petrographische Bezeichnung	Raumgewicht δ	Spec. Gewicht γ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Verhalten des Materials in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ zum Lager	trocken ∥ zum Lager	nass ⊥ zum Lager	nass ∥ zum Lager	nach 25-mal. Frosteinwrk. ⊥ z. Lag.	Erweich.-Koeff. β_t x β_n
Kanton Luzern.												
bläulichgrauer, ziemlich feinkörniger Sandstein	2,60	2,66	1,4	3,6	2,3	—	899	—	611	—	—	1,4
[illegible] mittelkörn. Sandstn.	2,56	2,63	2,0	5,0	2,6	—	709	—	489	—	—	1,5
[illegible] feinkörn. Sandstein	2,45	2,65	1,5	3,7	7,6	—	—	682	—	416	—	1,6
[illegible] zieml. feinkörn. Sandstein	2,45	2,65	1,5	3,7	7,6	—	520	-	307	—	—	1,7
[illegible] mittelkörn. Sandstn.	2,22	2,65	1,5	3,3	16,2	—	349	397	—	—	- -	—
Sandstein	—	—	—	—	—	erhebl. Ablösng.	---	—	—	—		—
»	—	—	—	—	—	geringe Ablösng.	779	—	530	—	429	1,5
[illegible] feinkörn. Sandstein	—	2,71	0,6	—	—	unverändert	1725	—	1395	—	1348	1,3
Kanton Schaffhausen.												
[illegible] Muschelsandstein	2,04	2,27	4,1	8,4	10,1	—	96	—	115	—	—	0,9
[illegible] ziemlich feinkörn. Sandstein	2,02	2,43	8,1	16,4	16,8	—	277	—	186	—	—	1,5
[illegible] zieml. feink. Sandstn.	2,22	2,48	4,6	10,2	10,4	—	427	—	270	—	—	1,6
[illegible] mittelkörn. Sandstn.	2,18	2,49	5,5	11,0	12,4	—	273	—	233	—	—	1,2
[illegible] mittelk. Sandstn.	2,27	2,48	4,6	10,4	8,4	—	413	—	324	—	—	1,3
[illegible] mittelk. Sandstn.	2,17	2,51	6,7	14,5	13,5	—	273	—	—	—	—	—
[illegible] (Pflasterstn.)	—	—	—	—	—	—	2226	—	—	—	—	—
Kanton Schwyz.												
[illegible] mittelkörn. Sandstn.	2,48	2,63	2,0	4,9	5,7	—	697	—	—	—	—	—
Sandstein	—	—	—	—	—	erhebl. Ablösung.	—	—	—	—	—	—
[illegible] mittelkörn. Sandstn.	2,47	2,63	3,2	7,9	6,1	» »	872	—	441	—	284	1,9
(Pflasterstein)	—	—	—	—	—	—	2240	—	—	—	—	—
Kanton St. Gallen.												
[illegible] mittelkörn. Sandstn.	2,32	2,61	2,2	5,1	11,1	—	536	—	—	—	—	—
» »	2,38	2,58	2,4	5,7	7,7	—	611	—	—	—	—	—
[illegible] mittelk. Sandstn.	2,38	2,60	2,7	6,4	8,4	—	568	—	—	—	—	—
[illegible] mittelk. Sandst.	2,34	2,55	3,2	7,5	8,2	—	447	—	—	—	—	—
[illegible] feinkörn. Nagelfluh	2,70	2,71	0,3	0,7	0,3	—	1443	—	—	—	—	—
[illegible] grobk. Sandstein	2,40	2,57	2,9	6,9	6,6	—	573	—	—	—	—	—
[illegible] Sandstein	2,34	2,55	4,1	9,6	8,2	—	447	—	289	—	—	5,1

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Eigentümer od. Pächter des Bruches (bezw. Antragsteller der Untersuchung)	Geologische Bezeichnung
103	1883	Buchberg bei Buchen	V. Raggenbass, Staad	Marine Molasse
104	1883	St. Margrethen	A. Ruesch, St. Margrethen	Unt. Süsswasser Mo
105	1883	Meierhof, St. Margrethen	Ruesch & Eugster, St. Margrethen	» » »
106	1883	Vadura-Pfäfers	Schiefertafelfabrik Engy in Ragaz	Eocen (Flysch)
107	1883	Scheftenau bei Wattwyl	M. Stäheli & J. Zwingli, Wattwyl	Unt. Süsswasser Mo
108	1883	Oberbollingen, Gem. Jona	M. Vogt, Nuolen (Schwyz)	Molasse
109	1883	Uznaberg, Gem. Uznach	Wenk & Kuster, Schmerikon	Unt. Süsswasser Mo
110	1883	Mels a. Seezbach u. a. d. Kastelshügel	L. Zimmermann & Söhne, Mels	Verrucano (Serpul
111	1883	» » »	» » »	» »
112	1887	Schafbuchelstein bei Ebnat	Mettler-Looser, Ebnat	—
113	1888	Rorschach	(Bauleitung d. eidg. Physikgebäudes Zürich)	—
114	1888	»	» » » »	—
115	1890	Bollingen	(Architekt H. Ernst, Zürich)	Molasse
116	1893	Neuland bei St. Margrethen	(Rheinkorrektion Rorschach)	»
117	1893	bei Altstätten	B. Weissenrieder, Altstätten	»
118	1894	St. Margrethen	Bruderer, St. Margrethen	—
119	1894	» »	» »	—
120	1894	Ricken bei Uznach	(Schulhausbaukommission Uster)	—
121	1894	Bolligen bei Schmerikon	(» »)	—
122	1896	Weesen	J. Hösli, Pflästermeister, Glarus	?
			Kanton Thurgau.	
123	1883	Bischofszell	F. Stäheli, Bischofszell	Molasse
			Kanton Uri. — Nidwalden.	
124	1895	Bolzach, Uri	F. Schranz, Stansstad	—
125	1895	Stansstad	» » »	—
126	1898	»	(J. Hösli, Pflästermeister, Glarus)	?
127	1898	Seedorf bei Flüelen	(» » »)	?

Petrographische Bezeichnung	Raumgewicht δ	Spec. Gewicht γ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n'%	Porosität absolut n%	Verhalten des Materials in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ zum Lager	trocken ∥ zum Lager	nass ⊥ zum Lager	nass ∥ zum Lager	nach 25.-mal. Frosteinwrk. ⊥ z. Lag.	Erweich.-Koeff. $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
laugrauer, feink. Sandstein	2,55	2,60	2,4	6,1	1,9	—	689	—	—	—	—	—
ellgrauer, grobk. Sandstein	2,34	2,52	3,0	7,0	7,1	—	544	—	—	—	—	—
grauer, grobk. Sandstein	2,36	2,53	2,1	4,9	6,7	—	583	—	415	—	—	1,4
hwarz., kalkig. Thonschief.	2,63	2,76	0,2	0,4	4,7	—	1253	—	1109	—	—	1,1
rauer, grobkörn. Sandstn.	2,36	2,60	2,3	5,4	9,2	—	519	—	443	—	—	1,2
ellgrauer, grobk. Sandstein	2,38	2,55	2,6	6,2	6,6	—	664	—	—	—	—	—
ellgrauer, mittelk. Sandstein	2,46	2,57	2,1	5,2	4,2	—	785	—	632	—	—	1,2
tlich. Quarzit-Konglomerat	2,62	2,71	0,0	—	3,3	—	953	—	—	—	—	—
blichgrün. Quarz.-Konglrt.	2,57	2,68	0,0	—	4,1	—	1048	—	—	—	—	—
Sandstein	2,57	2,70	1,1	2,7	4,8	—	1263	1277	961	881	—	⊥ 1,3 ∥ 1,4
»	—	—	—	—	—	—	798	627	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	—	—	742	—	—	—	—
lgrau., zieml. grobk. Sandstein	2,38	2,62	2,3	5,5	9,2	geringe Ablösng.	908	—	698	—	—	1,3
rauer, feinkörn. Sandstein	2,69	2,72	0,5	1,3	1,1	unverändert	1585	—	—	—	1558	—
lgrau., ziemlich feink. Sandstein	2,66	2,69	—	—	1,2	—	1476	—	—	—	—	—
Sandstein	—	—	2,9	—	—	unverändert	714*)	—	419*)	—	983*)	1,7
»	—	—	3,5	—	—	»	666*)	—	409*)	—	710*)	1,6
»	—	—	—	—	—	geringe Ablösng.	742	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
alkquarzit (Pflasterstein)	—	—	—	—	—	—	2608	—	—	—	—	—

Kanton Thurgau.

au r. mittelkörn. Sandstn.	2,61	2,70	0,7	1,8	3,3	—	599	—	473	—	—	1,3

Kanton Uri. — Nidwalden.

Gummerkalksandstein	2,70	2,71	—	—	0,3	—	2842	—	—	—	—	—
Kalksandstein	2,67	2,69	—	—	0,7	—	2556	—	—	—	—	—
nkelgrauer Pflasterstein)	—	—	—	—	—	—	2412	—	—	—	—	—
ellgrauer Pflasterstein)	—	—	—	—	—	—	2622	—	—	—	—	—

*) Die Probekörper wurden offenbar nicht aus ein und demselben Blocke entnommen.

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Eigentümer od. Pächter des Bruches (bezw. Antragsteller der Untersuchung)	Geologische Bezeichnung
			Kanton Waadt.	
128	1887	Crissier	(Chessex-Krieg, Lausanne)	Molasse
129	1890	La Borde bei Lausanne	F. Baud-Rochat, Lausanne	»
130	1896	Crissier	(Al. Bordigoni, Genève)	»
131	1896	Avenches	La Municipalité d'Avenches	»
132	1897	Servion	J. Dutoit, Clarens	—
			Kanton Zug.	
133	1883	Weidlia. Walchwylerberg, G. Walchwyl	J. C. Fuog, Zug	Molasse
134	1883	Gaissrain bei Zug	Henggeler & Guggenbühl, Unterägeri	Unt. Süsswasser Mo
135	1883	Walchwyl	D. Keiser, Zug	Marine Molasse
136	1883	Am Gubel, Menzingen	J. Weber am Gubel	Unt. Süsswasser Mo
			Kanton Zürich.	
137	1889	Pfäffikon	(Kirchen-Baukommission Pfäffikon)	Molasse
138	1892	Lattenberg, Stäfa	(Ritter-Egger, Stäfa)	»
139	1897	bei Meilen	K. Welti, Meilen	»
			Importwaren.	
140	1886	Arzweiler bei Zabern, Elsass	(Kantonsbaumeister Reese, Basel)	
141	1886	» » » »	» » »	
142	1886	Villingen und Donaueschingen (Baden)	» » »	—
143	1886	Wiesenthal, Baden	» » »	—
144	1886	» »	» » »	—
145	1892	Vogesen	(L. Chessex-Krieg, Lausanne)	Molasse
146	1892	»	» » »	»
147	1892	bei Zittersheim, Elsass	Walker & Meister, Wimmenau, Elsass	Vogesen-Sandstei
148	1893	» » »	» » » » »	» »
149	1893	» » »	» » » » »	»
150	1893	» » »	» » » » »	» »
151	1893	zw. Wimmenau u. Ingweiler (Elsass)	Gebr. Helfmann, Ingweiler, Elsass	» »
152	1893	» » » » »	» » »	» »
153	1893	» » » » »	» » »	» »

Petrographische Bezeichnung	Raumgewicht δ	Spec. Gewicht γ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n'%	Porosität absolut n %	Verhalten des Materials in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ zum Lager	trocken ∥ zum Lager	nass ⊥ zum Lager	nass ∥ zum Lager	nach 25.-mal. Frosteinwrk. ⊥ z. Lag.	Erweich.-Koeff. β_t / β_n
Kanton Waadt.												
...uer, mittelkörn. Sandstn.	—	—	—	—	—	—	292	—	—	—	—	—
...blichgrau., mittelk. Sandst.	2,17	2,65	5,2	11,3	18,1	—	281	—	—	—	—	—
...uer, zieml. grobk. Sandstn.	2,22	2,66	6,9	15,3	16,5	erhebl. Ablösung.	219	—	84	—	—	2,6
...blichgrau., feink. Sandstn.	2,15	2,67	8,2	17,6	19,4	» »	292*)	—	153*)	—	328*)	1,9
Sandstein	—	—	—	—	—	—	635	—	—	—	—	—
Kanton Zug.												
...uer, feinkörn. Sandstn.	2,51	2,60	1,0	2,5	3,5	—	869	—	785	—	—	1,1
...grauer, mittelk. Sandstn.	2,41	2,56	2,0	4,7	5,8	—	610	—	436	—	—	1,4
...blichgrau., mittelk. Sandst.	2,61	2,66	1,3	3,4	1,9	—	608	—	466	—	—	1,3
...grauer, mittelk. Sandstn.	—	2,59	1,7	—	—	—	605	—	529	—	—	1,1
Kanton Zürich.												
...uer, feinkörn. Sandstein	2,53	2,70	2,4	6,1	6,3	—	1157	—	—	—	—	—
...blichgrau., feink. Sandstn.	2,69	2,69	0,4	Spur	Spur	—	1486	—	—	—	—	—
...blichgrau., feink. Sandstn.	—	2,73	1,7	—	—	Spur v. Ablösung.	981	—	691	—	681	1,4
Importwaren.												
...rauer, zieml. feinkörn. ...merreich. Buntsandstn.	—	1,95	6,6	—	—	—	503	—	383	—	—	1,3
...rötlichgrau., zieml. feink. ...merreich. Buntsandstn.	—	1,95	6,2	—	—	—	507	—	383	—	—	1,3
...rötlichbrauner, zieml. feink. ...merreich. Buntsandstn.	—	1,95	5,7	—	—	—	556	—	480	—	—	1,2
...rauer, zieml. feinkörn. ...merreich. Buntsandstn.	—	2,12	8,4	—	—	—	397	—	343	—	—	1,2
...do. do.	—	2,17	9,4	—	—	—	416	—	352	—	—	1,2
...r, zieml. feink. Sandstn.	2,08	2,65	6,4	13,3	21,5	—	637	—	—	—	—	—
...grau., zieml. feink. Sandstn.	2,05	2,62	7,4	15,2	21,5	—	548	—	—	—	—	—
...braun., mittelk. Sandst.	1,87	2,61	9,9	18,3	28,4	geringe Ablösung	321	—	297	—	305	1,1
...mittelkörn. Sandstein	—	—	—	—	—	—	442	—	—	—	—	—
... »	—	—	—	—	—	—	591	—	—	—	—	—
» »	—	—	—	—	—	—	588	—	—	—	—	—
» »	2,18	2,64	7,7	15,1	17,4	—	383	—	—	—	—	—
» »	2,16	2,64	7,1	16,4	18,2	—	428	—	—	—	—	—
» »	2,12	2,63	7,5	15,6	19,6	—	243	—	—	—	—	—

*) Die Probekörper wurden offenbar nicht aus ein und demselben Blocke entnommen.

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Eigentümer od. Pächter des Bruches (bezw. Antragsteller der Untersuchung)	Geologische Bezeichnung
154	1893	zw. Winnenau u. Ingweiler (Elsass)	Gebr. Helfmann, Ingweiler, Elsass	Vogesen-Sandstein
155	1893	» » » » »	» » » »	» »
156	1893	» » » » »	» » » »	» »
157	1893	» » » » »	» » » »	» »
158	1893	» » » » »	» » » »	» »
159	1893	» » » » »	» » » »	» »
160	1894	Schwarzach, Vorarlberg	(Baudepartement Basel) »	—
161	1894	Vöcktlinshofen, Elsass	» »	—
162	1895	Variza sur Dieulefit, Dep. de la Drôme, France	(Seippel & Collet, Genf)	Molasse (?)
163	1896	Unbekannt	(Winkler, Architekt, Colmar)	—
164	1896	Schlesien	(Allg. Unfall-Haftpfl.-Vers.-Ges. Zürich)	—
165	1897	Rzeka b. Teschen in Öster.-Schlesien	(Ober-Ing. Lindley-Warschau)	—
166	1897	» » » » »	» » »	—
167	1897	» » » » »	» » »	—
168	1897	St. Germain (Saône)	(E. Fr. Meyer, Zürich)	—
169	1898	Vöcktlinshof (Elsass)	(J. Hösli, Pflästermeister, Glarus)	—
170	1898	Aix (France)	(J. v. Leisen, Genève)	—

III. Kalksteine.

Kanton Aargau.

171	1883	Veltheim, Stat. Wildegg	Zschokke & Cie., Aarau	Malm, jurassisch
172	1889	bei Baden	(Nordostbahn, Ob.-Ing., Zürich)	» »
173	1890	Kornberg im Frickthal	Jacobs & Cie., Zürich	Dogger (mittl. Dogger mittl. brauner Jura)
174	1895	Rümikon	(Nordostbahn, Linie Eglisau-Schaffh.)	—
175	1895	»	(Propst, Chappuis & Wolf, Eglisau, Zch.)	—

Kanton Basel-Land.

176	1893	Arlesheim	(R. Linder, Baumeister, Basel)	jurassisch
177	1896	Mönchenstein	(» » » »)	»

Petrographische Bezeichnung	Raumgewicht δ	Spec. Gewicht γ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Verhalten des Materials in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ zum Lager	trocken ∥ zum Lager	nass ⊥ zum Lager	nass ∥ zum Lager	nach 25.-mal. Frosteinwrk. ⊥ z. Lag.	Erweich.-Koeff. $\varkappa = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
roter, mittelkörn. Sandstein	2,14	2,65	7,3	15,7	19,2	—	399	—	—	—	—	—
» » »	2,13	2,64	7,3	16,1	19,3	—	307	—	—	—	—	—
» » »	2,17	2,64	7,1	15,5	17,8	—	427	—	—	—	—	—
» » »	2,15	2,65	7,9	16,8	19,1	—	336	—	—	—	—	—
ter, zieml. grobk. Sandstein	2,11	2,61	—	—	19,1	—	551	—	—	—	—	—
» » » »	1,97	2,65	—	—	25,5	—	304	—	—	—	—	—
ngrauer, dichter Sandstn.	—	—	0,4	—	—	unverändert	2131	—	1893	—	2182	1,1
braun. Vogesen-Quarzith	—	—	1,3	—	—	»	2306	—	1785	—	2154	1,3
r, sehr feink. Sandstein	2,06	2,46	9,0	18,5	16,3	Spuren v. Ablsng.	1057	1101	823	—	805	1,3
Sandstein	—	—	—	—	—	—	475	—	—	—	—	—
elb., feink. Sandstein	2,08	2,66	8,5	17,7	22,0	geringe Ablsg.	632	—	537	—	461	1,2
Sandstein	—	—	—	—	—	z. Teil geringe, z. Teil erhebl. Ablsg.	—	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	geringe Ablsg.	—	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	erhebl. Ablsg.	—	—	—	—	—	—
grauer Vogesen-Sandstein	—	—	—	—	—	geringe Ablsg.	472	—	—	—	398	—
rötlicher Pflasterstein	—	—	—	—	—	—	2437	—	—	—	—	—
Sandstein	—	—	—	—	—	—	1138	—	—	—	—	—

III. Kalksteine.

Kanton Aargau.

lgelb., oolithischer Kalkstn.	2,50	2,66	5,1	12,8	6,1	—	974	—	—	—	—	—
eigrötlicher Kalkstein	2,62	2,68	—	—	2,2	—	1765	1556	—	—	—	—
olithischer Kalkstein	2,42	2,70	4,9	11,9	11,0	—	622	705	467	427	—	⊥ 1,3 ∥ 1,7
Kalkstein	—	—	—	—	—	Spur v. Ablsng.	—	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	Ausbruch von muschelförm. kl. Partickelch.	—	—	—	—	—	—

Kanton Basel-Land.

rgelb., oolith. körn. Kalkst.	2,64	2,70	1,2	3,2	2,2	Spur v. Ablsng.	1580	1509	1091	—	1159	1,5
elber, dichter Kalkstein	2,60	2,71	0,5	1,3	4,1	unverändert	1931	—	1689	—	1689	1,1

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Eigentümer od. Pächter des Bruches (bezw. Antragsteller der Untersuchung)	Geologische Bezeichnung
		Kanton Schaffhausen.		
203	1883	Hofstetten bei Neuhausen	Alb. Bohrer, Schaffhausen	Malm, jurassisch
204	1883	Gehrenbuch bei Hemmenthal	Chr. Leu, Hemmenthal	» »
205	1883	Gaisberg bei Schaffhausen	Fr. Rossi, Schaffhausen	» »
206	1892	Mühlenthal	(Schweiz. N.-O.-Bahn. Ob.-Ing. Moser. Zürich)	»
207	1892	»	» » » » »	»
208	1892	»	» » » » »	» »
209	1892	»	» » » » »	» »
210	1892	»	» » » » »	» »
211	1892	»	» » » » »	» »
212	1892	Durstgraben	» » » » »	» »
213	1892	Altenburg	» » » » »	» »
214	1892	»	» » » » »	» »
215	1892	Jestetten	» » » » »	»
216	1892	»	» » » » »	» »
217	1892	Mützenthäli	» » » » »	» »
218	1893	Herblingen	» » » » »	» »
		Kanton Solothurn.		
219	1883	Oberbuchsiten	Arnold v. Arx, Olten	Malm, jurassisch
220	1883	Solothurn	Bargetzi-Bohrer, Solothurn	» »
221	1883	»	Bargetzi-Schmid, Solothurn	» »
222	1883	Lommiswyl	Peter Fröhlicher & Cie., Lommiswyl	» »
223	1883	»	» » » » »	»
224	1883	»	» » » » »	»
225	1883	»	» » » » »	»
226	1893	Kleinlützel	Passavant-Iselin, Basel	»
227	1893	»	» »	» »
228	1894	»	»	» »
229	1897	»	A. Petitjean, Basel	» »
		Kanton St. Gallen.		
230	1883	Bazenhaid, Gem. Kirchberg	Joh. Bapt. Moosberger, Bazenhaid	—
231	1883	Siten im Fly bei Weesen	Hch. Hösli, Pflästermeister, Glarus	Valangien. alpin.

Petrographische Bezeichnung	Raumgewicht δ	Spec. Gewicht γ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Verhalten des Materials in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ zum Lager	trocken ∥ zum Lager	nass ⊥ zum Lager	nass ∥ zum Lager	nach 25.-mal. Frosteinwrk. ⊥ z. Lag.	Erweich.-Koeff. β_t / β_n
Kanton Schaffhausen.												
ellgelber, dichter Kalkstein	2,66	2,68	1,3	3,4	0,8	—	1422	—	—	—	—	—
ellg.-lblich-grauer, dichter Kalkst.	2,59	2,65	0,7	1,8	2,3	—	1386	—	—	—	—	—
elligelber, dichter Kalkstein	2,70	2,70	0,5	1,4	—	—	1177	—	—	—	—	—
Kalkstein	—	—	1,1	—	—	geringe Ablösgn.	—	—	—	—	—	—
»	—	—	1,2	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	1,1	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	0,9	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	1,4	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	0,6	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	1,2	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	1,4	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	2,1	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	1,1	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	1,0	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	1,0	—	—	» »	—	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	Spur v. Ablösung	—	—	—	—	—	—
Kanton Solothurn.												
eligrauer, dichter, oolith. Kalkstein	—	2,69	0,3	—	—	—	1130	—	—	—	—	—
lg.auer, dichter Nerinäen-alkstein (Meerschnecken)	2,68	2,70	0,3	—	—	—	1084	—	—	—	—	—
Lgrauer, dichter Nerinäen-Kalkstein	2,66	2,69	0,4	—	—	—	1034	—	—	—	—	—
ellgelber, dichter Nerinäen-Kalkstein	2,66	2,70	0,2	—	—	—	1407	—	—	—	—	—
ber, dichter, Nerinäen-Kalkstein	2,67	2,69	0,3	—	—	—	1555	—	—	—	—	—
» » » »	2,67	2,69	0,3	—	—	—	1081	—	—	—	—	—
» » »	2,68	2,70	0,3	—	—	—	1092	—	—	—	—	—
weisser Kalkstein	2,19	2,68	9,0	19,7	18,4	—	362	—	250	—	—	1,5
isser, muschelig brechender Kalkstein	2,25	2,72	7,3	16,4	17,3	—	380	—	260	—	—	1,5
weisser Kalkstein	—	—	—	—	—	unverändert	382	362	—	—	⊥ 369 ∥ 351	—
elweisslich-gelber, oolith. Kalkstein	2,12	2,70	8,5	18,0	21,5	1 Körper geborst., die andern rissig	393	479	329	385	—	⊥ 1,2 ∥ 1,3
Kanton St. Gallen.												
gelber Kalktuff	1,65	2,21	13,4	22,1	25,3	—	61	—	79	—	—	0,8
raulich-brauner Echinodermen-Kalkstein	2,70	2,70	0,0	—	—	—	1787	—	—	—	—	—

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Eigentümer od. Pächter des Bruches (bezw. Antragsteller der Untersuchung)	Geologische Bezeichnung
232	1883	Isligstein bei Ragaz	Max Näff, Rheineck	Eocänformation, alpin
233	1883	Wallenstadt	Marmorbrüche u. Cementfabrik Wallenstadt	Malm, alpin
234	1883	Vom Schollberg, Gem. Wartau bei Sargans	Ortsgemeinde Wartau	» »
235	1883	Libingen bei Mosnang	Steiger & Kuhn, Flawyl	—
236	1895	Bazenhaid	(Kirchenbau-Kommission Bazenhaid)	—
			Kanton Waadt.	
237	1883	Villeneuve, Mont d'Arvel	Berger frères, Villeneuve	Lias, alpin
238	1883	Agiez, Bez. Orbe	Chamorel & Southwell, Lausanne	Urgonien (Kreideformation) jurassisch
239	1883	» » »	» » » »	Urgonien (Kreideformation), jurassisch
240	1883	Chamblon bei Yverdon	Emile Landry, Yverdon	Neocomien, jurassisch
241	1883	St. Triphon, Gem. Ollon	Soc. des Carrières de St. Triphon et de Collombey	Lias, alpin
242	1883	» » » »	» » » » » » » »	» »
243	1887	Agiez	Charles Chamorel, Lausanne	—
244	1887	»	» » »	—
			Kanton Wallis.	
245	1883	»St. Anne« in Murray b. St. Triphon	Bloch, Bovet & Co., Monthey	Alpin Sekundärkalk
246	1883	Collombey	Soc. des Carrières de St. Triphon et de Collombey	Sekundär-Kalkstein
247	1883	St. Triphon	» » » » » » » » »	Lias, alpin
248	1883	» »	» » » » » » » »	» »
249	1883	Collombey	P. M. de Lavallaz, Collombey	Trias, alpin
250	1883	»	» » » » »	» »
251	1883	Granges, Rive droite du Rhône	Joseph Sollioz & Co., Sitten	» »
252	1895	Collombey	P. M. de Lavallaz, Collombey	» »
253	1895	»	» » » » »	» »
			Kanton Zug.	
254	1883	Höll, Gem. Muheim u. Menzingen	Gebr. Lorenz & Jos. Schmid, Baar	—
255	1895	Fischkettenbruch (?) am Fusse der Rigi	(Conr. Hitz, Ing., Zug)	—
			Kanton Zürich.	
256	1883	Lägern bei Dielsdorf	Lägern-Steinbruch A.-G. Regensberg	Malm, jurassisch

Petrographische Bezeichnung	Raum-Gewicht δ	Spec. Gewicht γ	Wasser-aufnahme %	Porosität scheinbar n'%	Porosität absolut n%	Verhalten des Materials in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ zum Lager	trocken ∥ zum Lager	nass ⊥ zum Lager	nass ∥ zum Lager	nach 25.-mal. Frost-einwrk. ⊥ z. Lag.	Erweich.-Koeff. $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
[illegible]warzer, dichter Numultin-Kalkstein mit weissen Adern	2,70	2,72	0,3	0,7	0,73	—	1146	—	—	—	—	—
[illegible]hwarzer, dichter Quintner Kalkstein	2,71	2,71	0,4	1,1	—	—	1354	—	—	—	—	—
[illegible]hwarzer, weiss geaderter, dichter Kalkstein	2,70	2,71	0,8	2,2	0,36	—	1207	—	—	—	—	—
gelber Kalktuff	1,71	2,37	7,4	12,7	27,8	—	96,5	—	123	—	—	0,8
Tufstein	—	—	—	—	—	—	48	—	—	—	—	—
Kanton Waadt.												
[illegible]chbraune, dichte Echinodermen Breccie	2,73	2,73	0,0	—	—	—	932	—	—	—	—	—
[illegible]bl. weisser, oolith.-erdiger Kalkstein	2,30	2,59	10,0	23,0	11,2	—	148	—	66	—	—	2,3
[illegible]bl. weisser, oolith.-erdiger Kalkstein	2,40	2,59	9,2	22,08	7,3	—	257	—	142	—	—	1,8
[illegible]blich-brauner, fleckiger, späth. Kalkstein	2,68	2,70	0,3	0,80	0,74	—	1075	—	—	—	—	—
[illegible]warzer, dichter, geaderter Kalkstein	2,67	2,71	0,0	—	1,47	—	1575	—	—	—	—	—
[illegible]warzer, dichter geaderter Kalkstein	2,45	2,68	0,0	—	8,5	—	960	—	—	—	—	—
[illegible]eisslich-gelber Kalkstein	—	—	—	—	—	—	345	—	—	—	—	—
[illegible]ellrotl.-braun Kalkstein, Echinodermen Breccie	—	—	—	—	—	—	862	—	—	—	—	—
Kanton Wallis.												
[illegible]kelgrauer, weissgewölkt., [illegible]ter Kalkstein, geadert	2,70	2,73	0,2	0,5	1,1	—	960	—	—	—	—	—
[illegible]chgrauer, gesprenkelter, späthiger Kalkstein	2,69	2,71	—	—	0,7	—	1520	—	—	—	—	—
[illegible]nkler, dichter geaderter Kalkstein	2,67	2,71	—	—	1,4	—	1575	—	—	—	—	—
[illegible]nkler, dichter, geaderter Kalkstein	2,45	2,68	—	—	8,6	—	960	—	—	—	—	—
[illegible]rauer, späthiger Kalkst., [illegible]odermen Breccie	2,64	2,70	—	—	2,2	—	1377	—	—	—	—	—
[illegible]letter, späth. Kalkst., Echinodermen Breccie	2,66	2,73	—	—	2,6	—	1350	—	—	—	—	—
[illegible]ter, weisser Alabaster	2,25	2,28	—	—	1,3	—	433	—	—	—	—	—
[illegible], grauer, krystall. [illegible]odermen Kalkstein	2,69	2,70	0,2	0,4	0,4	unverändert	1890	1822	1802	—	1785	1,0
[illegible]brauner, krystall. Echinodermen Breccie	2,71	2,72	0,1	0,3	0,4	—	2102	1842	1819	—	1919	1,2
Kanton Zug.												
Kalktuff	1,57	2,53	13,7	—	—	—	879	—	—	—	—	—
[illegible]er, zieml. grobk. dichter [illegible]sand. Kalkstein	2,68	2,76	—	—	2,9	unverändert	1474	—	1215	—	1117	1,2
Kanton Zürich.												
[illegible]uner, dichter Kalkst.	2,61	2,67	0,2	0,5	2,2	—	1766	—	—	—	—	—

Lauf. No.	Jahr des Eingangs	Herkunft des Materials	Eigentümer od. Pächter des Bruches (bezw. Antragsteller der Untersuchung)	Geologische Bezeichnung
			Importwaren.	
257	1883	Thonon, Frankreich	A. de Challaye, Thonon	—
258	1885	Carrara, Italien	D. Doret, Vevey	—
259	1887	Poitou, Frankreich	Grands carrières du Poitou à Poitiers	jurassisch
260	1887	» »	» » » » »	»
261	1887	» »	» » » » »	»
262	1888	Bühl, Amt Waldshut, Baden	Fischer & Schmutziger, Aarau	»
263	1889	Bar-le-Duc, Frankreich	Brasseur, Bar-le-Duc (Th. Matthiessen, Regensb.)	Savonnière, Malm.
264	1889	» »	» » » » » »	Reffroi, Malm, jurass
265	1890	Savonnière, Frankreich	(Arch. H. Ernst, Zürich)	Malm, jurassisch
266	1891	Ruscink, Rumänien	(N. Coutzarida, Ing., Bukarest)	—
267	1891	Umgeb. von Seyssel, franz. Jura	(A. G. Lenoir & Grenier, Genf)	—
268	1894	Verona, Italien	Richelli, St. Ambrogio-Verona, (Bildh. Schneebeli, Zürich)	—
269	1895	Minseln, Grossh. Baden	(Kraftübertragungswerke Rheinfelden)	—
270	1896	Nembro rosso, Italien	(Schmidt & Schmidweber, Zürich)	—
271	1897	Courson (Jonne), Frankreich	(E. Fr. Meyer, Zürich)	—
272	1897	Appenin, Prov. Porto Maurizio, Italien	(Ing. A. C. Bonzanigo, San Remo)	—
273	1897	Lacoste (Vaucluse) Frankreich	(A. Bonzanigo & H. Schauenberg, Genf)	—
274	1897	St. Juste, Frankreich	Société des Carrières du Midi à Lyon (Représentant J. Brodbeck, Basel)	—
275	1897	Fôret de Morley, Frankreich	Brasseur, Carrières de Pierres de Taille, Bar-le-Duc	—
276	1897	Savonnière, Frankreich	(J. E. Goss, Arch., Genf)	—
277	1898	» »	Civet, Crouet & Co., Lecrouville	—
278	1898	Villette, Frankreich	J. Morgon & C. Didier, Bourg (Ain)	jurassisch
279	1898	Chassignelles, Frankreich	Renard, Fèvre & Co., Chassignelles par Ancy-le-France (Jonne)	—
280	1898	Massangis, Frankreich	» » » » »	—
281	1898	Mereuil, Frankreich	» » » » »	—
282	1898	Comblanchien, Frankreich	» » » » »	—
283	1898	Palotte, Frankreich	» » » » »	—
284	1898	St. Germain du Joux (Ain)	Société des Carrières de Villebois (Ain), (L. Wäckerlin, Lausanne)	—
285	1898	» » » » »	» » » » » » »	—
286	1898	» » » » »	» » » » » » »	—
287	1898	» » » » »	» » » » » » »	—
288	1898	Hohenembs, Vorarlberg	(L. Kürsteiner, St. Gallen)	—

Petrographische Bezeichnung	Raumgewicht δ	Spec. Gewicht γ	Wasseraufnahme %	Porosität scheinbar n' %	Porosität absolut n %	Verhalten des Materials in der Frostprobe	Druckfestigkeit, kg/cm² trocken ⊥ zum Lager	trocken ∥ zum Lager	nass ⊥ zum Lager	nass ∥ zum Lager	nach 25.-mal. Frosteinwrk. ⊥ z. Lag.	Erweich.-Koeff. $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
Importwaren.												
[illegible] politurfähiges Kalkkonglomerat, buntfarbig	—	2,62	—	—	—	—	1067	—	—	—	—	—
weisser und bläulicher Carrara-Marmor	—	—	—	—	—	—	1012	918	—	—	—	—
weisslich-gelber Kalkstein	—	—	—	—	—	—	275	—	—	—	—	—
» »	—	—	—	—	—	—	463	—	—	—	—	—
» »	—	—	—	—	—	—	224	—	—	—	—	—
[illegible] dichter, muschelig brechender, spröder Kalkstein	2,67	2,69	0,4	1,1	0,7	—	1814	2055	—	—	—	—
hellweissgrauer, oolith., stark poröser Kalkstein	1,81	2,70	14,3	25,9	33,0	erhebl. Ablösg.*)	133	157	78	97	—	1,7 / 1,6
hellgelblicher, oolith., zieml. kompakter Kalkstein	2,28	2,67	6,2	14,1	14,6	» » **)	464	507	335	367	—	1,4
hellgelblichgrauer, oolith., stark poröser Kalkstein	2,00	2,68	11,0	22,0	25,2	geringe Ablösung	164	—	133	—	—	1,2
hellgelblichgrauer, feinkorniger Kalkstein	2,11	2,68	10,6	22,3	21,3	—	257	278	203	214	—	1,2 / 1,3
hellgelber, dichter Kalkstein	2,63	2,70	—	—	2,6	—	1970	—	—	—	—	—
Kalkstein (Tufo bianco)	—	—	—	—	—	—	216	—	—	—	—	—
Kalkstein	—	—	—	—	—	Spur v. Ablösg.	—	—	—	—	—	—
Marmor	—	—	—	—	—	—	1746	—	—	—	—	—
hellgelber, erdigkörniger, oolith. Kalkstein	—	—	—	—	—	stark gerissen	167	—	—	—	—	—
schwarzer Kalkstein	—	—	—	—	—	—	2116	—	—	—	—	—
weisser Kalkstein	—	—	—	—	—	—	123	—	—	—	—	—
Kalkstein	—	—	—	—	—	—	109	—	—	—	—	—
[illegible]grauer, feinkörn. Kalkstein	2,09	2,74	9,9	20,7	23,7	Spur v. Ablösg.	505	526	412	457	361	1,2
Kalkstein	—	—	—	—	—	—	125	—	—	—	—	—
»	—	—	—	—	—	—	128	—	—	—	—	—
[illegible]braungelblicher, dichter, muschelig brechender Kalkst.	2,67	2,71	0,4	1,1	1,5	Spur v. Ablösg.	1974	1991	1837	1735	1760	1,1
[illegible]gelblichgrauer, mittelkörn. Kalkstein	2,33	2,65	5,5	12,8	12,0	stark gerissen	614	528	473	489	—	1,3 / 1,1
[illegible]lichgrauer, mittelkörn. Kalkstein	2,35	2,67	3,0	7,0	12,0	Spur v. Ablösg.	881	787	702	594	634	1,3
[illegible]grauer, ziemlich. dicht., [illegible]körniger Kalkstein	2,35	2,66	4,9	11,5	11,7	stark gerissen	853	804	714	699	—	1,2
[illegible] bis violetter, dichter, feinkorniger Kalkstein	2,66	2,67	0,5	1,3	0,4	geringe Ablösung	1859	2105	1737	2002	2012	1,1 / 1,2
[illegible], erdigkörniger, zieml. poröser Kalkstein	1,81	2,69	15,5	28,0	32,0	2 Körp. erhebl. Abl. 1 „ Spur. „	344	340	215	235	251	1,6 / 1,5
weisser Kalkstein	2,15	2,71	9,4	20,2	20,6	—	—	—	—	—	—	—
» »	2,28	2,69	8,2	18,7	15,2	—	—	—	—	—	—	—
» »	2,19	2,66	8,4	18,4	17,7	—	—	—	—	—	—	—
»	2,10	2,67	9,8	20,6	21,3	—	—	—	—	—	—	—
Kalkstein	2,70	—	0,2	0,5	—	—	1616	—	1569	—	—	1,0

*) = 17,3 % Substanzverlust. **) = 30,1 % Substanzverlust.

2. Resultate der Untersuchung der Produkte der schweiz. Dachschiefer nebst einigen Importwaren.

a. Die Entstehung und die Textur der Thonschiefer.

Von Dr. Alb. **Heim**, Professor.

Unter allen Gesteinen der Gruppe » Thonschiefer « interessieren den Techniker am meisten diejenigen, welche als *Dachschiefer* verwendbar sind und welche deshalb auch mit dem Namen der »*Dachschiefer*« bezeichnet werden. Um diese Gesteine in ihren Abänderungen, Übergängen und in ihrem Vorkommen zu verstehen, ist es notwendig, die ganze Reihe der Gesteine zu betrachten, aus welchen sie nur ein Glied darstellen

Thonschiefer bilden sich auf der Erde fort und fort. Es bedarf aber so langer Zeiträume, bis sie im grossen Laboratorium der Natur zu fertigen Dachschiefern geworden sind, dass wir nur in den Gesteinsmassen längst vergangener Perioden der Erdgeschichte fertige solche finden. Indem wir aber von den jetzigen Vorgängen aus die ganze Reihe der Gesteine, die zu den Dachschiefern führt, durchgehen, treffen wir hier alle Stadien, welche die natürliche Fabrikation durchläuft.

Das Ausgangsglied ist der *Thon*. Thon ist ein Schlammgestein, weich, plastisch, bis 70% Wasser aufnehmend und festhaltend, meist Anschwemmungsprodukt von Flüssen. Spec. Gewicht bei 100° getrocknet 2,4 bis 2,5. Die Thone sind Gemenge von fein zerriebenen und natürlich geschlemmten Verwitterungsprodukten. In der Regel ist der *Hauptbestandteil Kaolin oder ein kaolinartiges Mineral*, also ein wasserhaltiges Thonerdesilikat. Dazu kommen mechanisch eingeschwemmte Partikelchen unverwitterbarer oder nicht ganz verwitterter anderer Minerale, ganz besonders von *Quarz* und von *Glimmer*, manchmal von *Feldspath*, und ferner organische Restchen. Falls sich aus dem Wasser gleichzeitig aus Lösung Kalk niederschlägt, so wird der Thon kalkhaltig. Ebenso gibt es dolomithaltige, limonithaltige etc. Abänderungen. Je kleiner die Partikelchen

sind, desto zäher, plastischer, klebriger, » fetter « ist der Thon; je weniger fein, desto » magerer « und sandiger wird er.

Da der Thon ein *Gemenge* von geschlemmten Verwitterungsprodukten ist, hat er auch sehr wechselnde chemische Zusammensetzung. Das einzige Konstante besteht darin, dass stets eine Grundlage von wasserhaltigem Thonerdesilikat vorhanden ist. Kieselsäure kann daneben noch in verschiedenen Formen auftreten. Die gewöhnlichen Thone enthalten SiO_2 = 45 bis 75%, Al_2O_3 = 12 bis 25%. Die andern Bestandteile treten sehr unregelmässig auf.

Die jungen Thone erweisen sich bei mikroskopischer Prüfung als durchaus klastisch-pelitischer Natur, d. h. sie sind aus zerriebenem Gesteinspulver, aus lauter *Mineraltrümmerchen* gebildet, welche nur wegen ihrer Kleinheit an einander adhärieren, aber noch weder krystallinisch, noch durch irgend einen Kitt verbunden sind.

Zu den älteren Thongesteinen fortschreitend finden wir die folgenden durch alle erdenklichen Übergänge in allen möglichen Varietäten mit einander verbundenen Glieder:

1. *Thone* — 2. *Schieferthone* — 3. *Thonschiefer* — 4. *Thonglimmerschiefer* — (Phyllite) — 5. *Glimmerschiefer.*

Die Umwandlung geschieht dadurch, dass die Partikelchen sich immer dichter lagern, das Gestein mehr und mehr schiefrige Textur annimmt, dass seine kleinsten Teilchen sich allmälig krystallinisch umlagern, wodurch das Trümmergefüge langsam in ein mikrokrystallinisches Gefüge, schliesslich in ein sichtlich krystallinisches Gefüge übergeht. Die sich verfilzenden Kryställchen geben erhöhte Härte, der Schiefer wird endlich klingelhart und sein specifisches Gewicht steigt der Verdichtung entsprechend auf 2,64 bis 2,95.

Diese Umwandlung ist in der Hauptsache bedingt durch die Krystallisationskräfte, welche in der Substanz selbst liegen. Allein die dazu nötigen Faktoren sind *Zeit* und *Druck.* Wir finden im allgemeinen die Umwandlung um so weiter vorgeschritten, je älter die Gesteine sind und je gepresster sie gelegen haben. In letzterer Beziehung ist zu unterscheiden: Druck einfach durch die Last jüngerer überliegender Gesteine, und Druck durch den Prozess der Gebirgsstauung. Wir werden nachher

sehen, dass je nachdem verschiedene Texturen der Schiefer entstehen können. Der Prozess der Erhärtung und krystallinen Umbildung im Sinne der Reihe Thone—Glimmerschiefer kann auch durch den Kontakt mit Eruptivgesteinen befördert werden, doch will ich die Kontaktmetamorphose hier nicht weiter erörtern, da sie meist nur in ganz eng begrenzten Räumen wirkt.

Ich will zuerst versuchen, die Hauptglieder der Reihe kurz nach ihrer Beschaffenheit zu charakterisieren.

Die *Schieferthone* sind weiche, thonige Schiefer mit unvollkommener Schieferung, Bruch oft schief durch die Schieferung, Klang dumpf, Gefüge unter dem Mikroskop noch vorherrschend undeutlich klastisch. Wie bei den Thonen, so gibt es auch hier kalkfreie und kalkreiche (Schiefermergel), kieselärmere, kieselreichere, eisenschüssige etc. Varietäten. Hierher manche Cementsteine.

Die *Thonschiefer* sind härter, Härte 2 bis 4, vollkommen schiefrig, die Schieferplatten klingend beim Anschlagen, die Substanz von Auge homogen, bei mikroskopischer Prüfung oft ein Filzwerk von Krystallnädelchen und Schuppen, oft von einem farblosen Grundelement, einem noch nicht näher bekannten Thonerde-Silikat verbunden. Als mikroskopisch kleine krystallinische Elemente sind nachgewiesen: *Quarz, Rutil* in Nädelchen bis 0,02 mm Länge, 2 bis 3 % des Gesteins ausmachend, *Glimmer* in massenhaften Schüppchen, *Sericit* (eine dichte und feinschuppige meist grünlich durchscheinende und fettig milde Abänderung von Alkaliglimmer), Chlorit, Ottrelith, Andalusit, Staurolith, Hornblende, Turmalin, Körnchen von Pyrit (Schwefeleisen), Hämatit (Roteisenerz), Magnetit (Magneteisenerz), schwarze Flimmerchen von Anthraconit (kohliger Substanz), mikroskopische Schüppchen von Calcit. Manche Bestandteile sind noch nicht sicher zu beurteilen. Zum Teil sind die Umwandlungen, die da stattgefunden haben, durch die Übergänge zu sehen oder zu erraten. Die früher scharf begrenzten Quarzkörnchen sind jetzt in die umgebenden Gesteinsteilchen hinein wie verflossen, aus den Feldspathpartikelchen ist Sericit, aus dem Limonit ist der Hämatit und Magnetit geworden, aus dem im Thon eingeschwemmten organischen Detritus sind die Anthraconitflimmerchen geworden, welche einer Umwandlung der organischen Substanz zu Anthracit oder Graphit entsprechen und durch ihre nun dunkle Farbe und

äusserst feine Zerteilung oft das Gestein schwarz färben. Nur die anthraconitfreien Thonschiefer sind anders gefärbt. Sericitreiche Thonschiefer sind grünlich, solche, die viel Hämatit oder Eisenoxydsilikate enthalten, rötlich etc. Es gibt auch feste, weisse Thonschiefer. Einzelne der genannten Minerale der Thonschiefer, z. B. die Erze, können auch in grösseren von Auge erkennbaren Körnern sich ausscheiden.

Die Thonschiefer enthalten in verschiedenen Abänderungen 45 bis 70 %, im Mittel 59 % SiO_2, 12 bis 25, im Mittel 20 % Al_2O_3, im Mittel ca. 7 % Fe_2O_3 + FeO und 3,5 % K_2O.

So viele Varietäten in chemischer Beziehung, wie es bei den Thonen und Schieferthonen gibt, so viele Varietäten auch bei den Thonschiefern. Es gibt kalkreiche Abänderungen, das sind die *Kalkthonschiefer und Mergelschiefer,* es gibt sehr kieselreiche, das sind die *Wetzschiefer* und *Kieselthonschiefer.*

Als *Dachschiefer* sind diejenigen Thonschiefer zu verwenden, welche *dünn und eben spaltbar* und *wetterbeständig* sind. Über die *Wetterbeständigkeit* lässt sich aus der chemischen und mineralogischen Analyse noch nicht viel erraten. Der Kalkgehalt und der Pyritgehalt sollen möglichst klein sein. Im Übrigen hängt die Wetterbeständigkeit in hohem Masse von der Struktur (oder richtiger Textur) ab, die bei gleicher chemischer und mineralogischer Zusammensetzung verschieden oder auch bei verschiedener chemischer Zusammensetzung gleich sein kann.

Thonglimmerschiefer (Phyllite) nennt man diejenigen Thonschiefergesteine, bei welchen die Krystallinität bereits so weit ausgebildet ist, dass sie beginnt, von Auge deutlich sichtbar zu werden. Die mikroskopische Prüfung zeigt dann auch noch die vielen wechselnden Mineralien ähnlich wie bei den Thonschiefern, aber besonders erscheinen nun in grösseren deutlicheren Krystallkörnern reichlich verschiedene Arten aus der Familie der Glimmer, Sericit und Quarz. Ausserdem noch Minerale, die in den Thonschiefern recht selten auftreten wie Granat, Hornblende, Zoisit, Staurolith, Albit etc. Auch hier bilden einen Seitenzweig die kalcithaltigen bis zu den eigentlichen Kalkphylliten.

Manche Dachschiefer die verwendet werden, wie z. B. grüner Sericitschiefer aus den Ardennen mit Magnetitkryställchen, können füglich schon zu den Phylliten gerechnet werden. Alle Übergänge, gegeben durch stets vollere krystallinische Ausbildung

unter vollständigem Verschwinden der ursprünglich klastischen Natur leiten uns endlich hinüber zu einer Gruppe krystallinisch körniger, schiefriger Gesteine, welche man, weil sie neben sehr wechselnden anderen Mineralien stets viel Glimmer enthalten bezeichnet als

Glimmerschiefer.

Es soll damit freilich nicht gesagt sein, dass alle Glimmerschiefer sicher nur auf diesem Wege entstanden seien. Auch hier trifft man wieder diejenige Gesteinsreihe, welche dem zunehmenden Kalkgehalt des ursprünglichen Thones entspricht, die Reihe von den Glimmerschiefern durch den Kalkglimmerschiefer bis zu den Glimmermarmoren (Cippoline).

Die *Thone* gehören in der Regel der Gegenwart (Alluvialperiode), dem Diluvium und der Tertiärzeit an, hie und da sind sie noch älter.

Die *Schieferthone* treffen wir am häufigsten in den Bildungen des Tertiärsystemes und in den mesozoischen Schichtenkomplexen (Kreide, Jura und Trias).

Die *Thonschiefer* haben ihre zahlreichsten Fundorte innerhalb der paläozoischen Schichtensysteme (Carbon, Devon, Silur und Cambrium).

Phyllite treffen wir vorherrschend in den azoischen Sedimenten (Cambrium und Präcambrium).

Glimmerschiefer folgen unter den Phylliten in der Gruppe der krystallinischen Schiefer.

Allein sehr merkwürdige Ausnahmen von der Regel zeigen uns, dass die Zeit allein bei der fortschreitenden krystallinischen Umbildung und Verfestigung weniger ausmacht, als der Druck:

In Russland gibt es sehr alte silurische Thone, welche noch plastisch und rein klastisch sind, so wie bei uns die diluvialen und tertiären. Diese Thone liegen der Oberfläche nahe, sie waren niemals von mächtigeren überliegenden Sedimenten bedeckt und durch solche zusammengepresst, sie sind deshalb trotz ihrem hohen Alter plastisch geblieben.

In den Alpen treffen wir umgekehrt, besonders in denjenigen Zonen, welche bei dem Prozess der Gebirgsfaltung eine ausserordentliche Zusammenquetschung erlitten haben, die Metamorphose viel weiter vorgeschritten, als sie nach den Durchschnittsvorkommnissen und dem Alter sein sollte. Da finden wir als die

jüngsten bisher überhaupt bekannten Dachschiefer die tertiären (oligocaenen oder jung eocaenen) Schieferplatten von Matt, Engi, Elm im Kt. Glarus, von Attinghausen in Uri und vom Taminathal und die jurassischen von Meiringen. Da kommen in den innern Muldenzügen zwischen den inneralpinen Centralmassiven Phyllite und Glimmerschiefer vor, die vollständig krystallinisch geworden sind, und neben Granat, Glimmer, Zoisit etc. etc. jurassische Petrefakten enthalten.

Wenn diese Beispiele zeigen, dass Druck wesentlicher als Zeit ist, so erklärt sich dennoch das durchschnittliche Vorrücken der Umbildung mit der Zeit eben dadurch, dass ältere Gesteine gewöhnlich mehr schon als jüngere belastet worden, und dass sie länger die Einwirkung der Belastung empfunden haben, als die jüngeren.

Wenn man in dieser allmäligen, durch zahllose Übergänge in allen Varietäten vermittelten Reihe: Thon — Schieferthon — Thonschiefer — Thonglimmerschiefer (Phyllite) — Glimmerschiefer die einzelnen Bestandteile vergleicht, so findet man die Tendenz zu steter Verdichtung, zur Ausbildung specifisch schwerer Mineralien, der Wassergehalt der ursprünglichen Thonerdesilikate geht allmälig ganz weg, und das ganze Gestein wird dementsprechend dichter, specifisch schwerer. Es ist die Umwandlung mit Volumverminderung verbunden, und darin mag der Grund liegen, dass *Druck* die Umwandlung wesentlich befördert.

Endlich bedarf eine der für uns wesentlichsten Eigenschaften der Thonschiefer, nämlich die *Schieferung* noch einer näheren Erörterung. Das Phänomen ist viel komplizierter, als man es sich gewöhnlich denkt. Wir sind noch weit davon entfernt, hier nur annähernd alles, was in Betracht kommt, unterscheiden zu können. Es ist auch nicht möglich, den Charakter der Schieferung an irgend einem einzelnen Handstück mit Sicherheit zu erkennen, vielmehr muss man den Schiefer als entstehenden Fels untersuchen und hier prüfen, ob Schichtung und Schieferung zu unterscheiden sind, und wie dieselben zu einander stehen. Es gibt nach der Entstehung verschiedene Arten der Schieferung, welche bald einzeln getrennt bei verschiedenen Thonschiefern vorkommen, bald aber auch kombiniert bei ein und demselben Gesteine auftreten. Die Art der Schieferung aber ist es gerade, welche die

Verwendbarkeit bedingt. Wir können mit Sicherheit folgende Typen unterscheiden:

I.

Dünnschichtung, Plattung (uneigentliche Schieferung) Fig. 10.

Wenn die Schichtung, wie sie durch Wechsel oder Unterbrüche in dem Absatz ursprünglich bedingt worden ist, eine feine ist, so dass die einzelnen Schichten nur etwa einen Centimeter oder nur Bruchteile eines Centimeters dick geworden sind, dann erscheint dieselbe für praktische Zwecke wie eine Schieferung und man nennt sie in der Regel fälschlich Schieferung. Die richtige Bezeichnung ist Dünnschichtung oder Plattung. Der Charakter ist folgender: Die Dünnschichtung geht parallel der durch grössere Gesteinswechsel angedeuteten Schichtung. Auf den Flächen finden sich oft Versteinerungen oder Wellenfurchen, Fährten etc. Die Versteinerungen liegen in der Ebene der Dünnschichtung. Die Dünnschicht oder Platte ist in der Regel nicht weiter spaltbar, ihre Dicke ist von Natur gegeben und je nach ihrer unabänderlichen Dicke kann sie für den einen oder andern Zweck verwendet werden (Dachplatten, Tischplatten, Bodenplatten etc.). Häufig ist regelmässig die Oberfläche der Platte anders beschaffen als die Unterfläche, die Platte überhaupt nicht durch ihre ganze Dicke gleichartig.

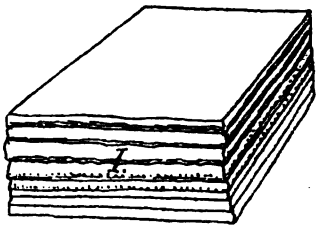


Fig. 10.

Beispiel: Schiefer von Engi und Matt im Sernfthal Kt. Glarus. Die »Blätterschiefer« oder »Plattenschiefer« haben eine rauhe, harte, mehr kalkige und kieselige, hellgraue, und eine glatte, weichere, mehr thonige und graphitschwarze Seite (die »Härte« und die »Linde«). Wechsel in der Dicke der Platten von zwei Millimeter bis fünf Centimeter. Die zahlreichen versteinerten Fische mit noch erhaltener Knochensubstanz liegen erhaben auf und in der harten Seite, die vertieften Abdrücke finden sich in der weichen Unterseite der darüber liegenden Schichtplatte. Wir haben es in diesen Schiefern mit einem regelmässigen, vielleicht jahreszeitlichen Wechsel von je einem mehr thonigen mit einem mehr kalkigen Absatz zu thun, welche je

zusammen zu einer dünnen Schicht verwachsen sind. Trotz ziemlich hohem Kalkgehalt gibt es unter den Plattenschiefern des Sernfthales solche, die als Dachplatten recht gut sind. Sie blättern nicht auf, sie sind dünne Schichten, nicht Schiefer. (Näheres in Heim: »Mechanismus der Gebirgsbildung« Bd. II S. 66 etc. und Alex. Wettstein, Denkschriften der schweiz. naturforsch. Ges. 1886.)

II.

Wirkliche Schieferung.

Die wirkliche Schieferung äussert sich in einer Spaltbarkeit, welche durch die ganze Masse des Schiefers hindurchgeht und nicht nur auf einzelnen auserlesenen Fugen stattfindet. Sie kommt her von einer parallelen Lage aller lamellaren oder stengligen, in der Regel mikroskopisch feinen Gesteinselemente. Die Dicke der zu spaltenden Platten ist nicht von Natur gegeben, sie kann in gewissen Grenzen beliebig gewählt werden. Die Schiefer haben keine regelmässig ungleichen Seiten, die beidseitigen Schieferflächen sind ähnlich. Die Schieferung kann auf drei verschiedenen Ursachen beruhen und darnach wieder verschiedene Charakter zeigen und zwar:

II A. Ursprüngliche Absatzschieferung (Fig. 11).

Die Gesteinstrümmerchen oder Schlammpartikelchen können, statt allseitig von ähnlichen Dimensionen zu sein, auch zum Teil oder vorherrschend stengliche oder lamellare (blättrige) Gestalt haben. In diesem Falle legen sie sich beim Absatz aus dem Wasser schon lange vor der Verfestigung dem Boden parallel mehr und mehr horizontal. Bei vorherrschend blättrigen Trümmerchen werden auch die Grenzfugen zwischen den Trümmerchen horizontal gestellt sein. Es ist deshalb von Anfang an die Adhäsion in der horizontalen Lage viel geringer als in den Querlagen, das Gestein ist schiefrig.

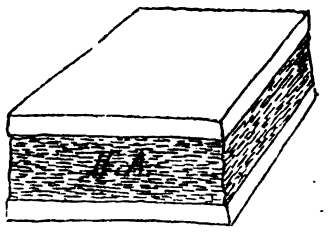


Fig. 11.

Am deutlichsten erscheint diese ursprüngliche Absatzschieferung in psammitischen (sandsteinigen) und pelitischen (schlammig gebildeten) Gesteinen, wenn das Gestein, durch dessen Abwitterung

und Abspülung sie ihr Bildungsmaterial bezogen haben, recht glimmerreich war. Kleine Glimmerblättchen erzeugen dann vorherrschend die Schieferung. Oft sind sie von Auge schon zu sehen, oft mikroskopisch klein. Die höchste Ausbildung der ursprünglichen Absatzschieferung sehen wir bei den ganz aus Glimmertrümmern zusammen geschwemmten » Glimmersandgesteinen «. Gute Dachschiefer, die blos ursprüngliche Schieferung zeigen, sind zwar sehr selten.

II B. Belastungsschieferung oder **Konsolidationsschieferung** (Fig. 12) entsteht dadurch, dass unter der Last der über einem Thone angehäuften jüngeren Sedimente alle Vorgänge der Konsolidation gewissermassen einseitig gezüchtet werden. Anstatt in allen Richtungen des Raumes sich gleichartig durch dichtere Molekularlagerung zusammenzuziehen und Spaltennetze zu bilden, wird diese Kontraktion in der vertikalen Richtung durch die Last befördert, in der horizontalen erschwert oder unmöglich gemacht. Die vertikale Belastung drängt das Material seitlich zu stetem dichtem Verschluss. Wenn irgend eine Masse in einer einzelnen Richtung zusammengedrückt wird, so muss sie senkrecht zu dieser Richtung schiefrig werden, denn alle chemischen oder physikalischen, mineralischen und petrographischen Unregelmässigkeiten, welche primär vorhanden waren, werden dadurch in lamellare Formen flachgequetscht, alle ursprünglich stengligen oder blättrigen Partikelchen, die unregelmässig gestellt waren, werden mehr oder weniger flach gedreht. Die Volumenverminderung durch Zusammengehen in horizontaler Richtung wird aufgehoben durch Ausquetschung in horizontaler Richtung, die Dimensionen gehen also in der Schwererichtung stark zusammen, in der horizontalen eher etwas auseinander. Während dieser Wirkung, derselben fortwährend sich anpassend, macht sich die langsame Umwandlung von klastischer in mehr und mehr kryptokrystallinische Struktur geltend. So wird die Masse notwendig schiefrig. Diese Art der Schieferung ist wohl die allgemeinste. Bei den Gesteinen der Thonreihe ist sie deshalb viel stärker und ausgeprägter, als z. B. bei Salz,

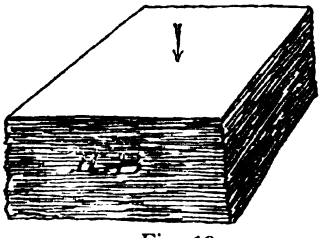


Fig. 12.

Gyps, Kalkstein, weil eben die Thone infolge ihres ursprünglich so hohen Wassergehaltes bei der Konsolidation viel stärkere Volumenverminderung eingehen, als fast alle andern Gesteine. Ihre vielen lamellaren Schlammpartikelchen helfen mit. So sehen wir denn, dass die älteren Thongesteine fast *immer* schiefrig werden. Es geht das so weit, dass man sich, unpräciser Weise, vielfach gewöhnt hat, das Wort »Schiefer«, das doch nur eine Texturart bezeichnet, für einen Gesteinsnamen zu verwenden und oft statt »Thonschiefer« blos »Schiefer« sagt. Kurz ausgedrückt können wir diese Art der Schieferung bezeichnen als die *Folge des Zusammengehens der Thongesteine in der Schwererichtung während der Vorgänge der Konsolidation.*

Diese Belastungsschieferung oder Konsolidationsschieferung läuft nahezu oder vollständig parallel der Schichtung, welche durch Gesteinswechsel, z. B. eingelagerte Sandsteinbänke oder andere Abänderungen der Thonschiefer, gekennzeichnet ist. Sie ist also im grossen Ganzen horizontal. Die eingeschlossenen Petrefakten liegen in der Schieferungsrichtung und sind in der Regel senkrecht dazu zusammengedrückt. Die so gebildeten Schiefer können solide sein, es ist aber auch ein Aufblättern bei der Verwitterung möglich.

Beispiel: Dachschiefer (Thonschiefer) aus der Carbonbildung bei Vernayaz-Salvan im Unterwallis.

II C. Stauungsschieferung (»Druckschieferung im engern Sinne«), **Clivage, Quetschschieferung** (Fig. 13).

Jede Masse, welche in einer Richtung zusammengequetscht wird, während sie in einer andern ausweichen kann, muss schiefrige Textur annehmen senkrecht auf die Richtung der stärksten Volumenverminderung. Die Schieferung liegt in der Richtung, in welcher dem Ausweichen der geringste Widerstand entgegensteht, das ist jedenfalls steil, aber keineswegs notwendig genau senkrecht auf die Richtung des maximalen Druckes, der die Quetschung bedingt. So kann Backwerk, dessen Teig gewalzt worden ist, schiefrig werden.

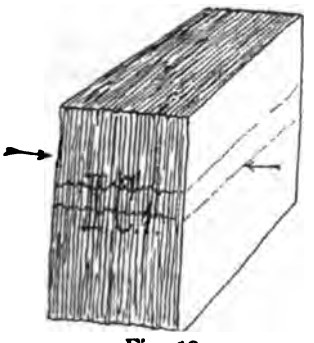


Fig. 13.

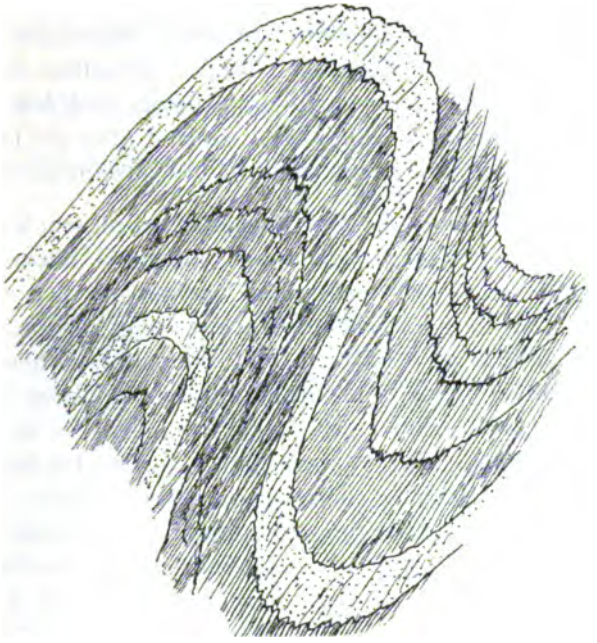
Gepresste, nicht sehr homogen verarbeitete Thone (z. B. bei Röhrenfabrikation, Ziegelfabrikation etc.) brennen sich schiefrig. So nehmen unhomogene oder zu kalt gewalzte Metalle schiefrige Texturen an. Auch ganz homogene Massen bilden zusammengequetscht innere Rutschflächen in der Richtung des Ausweichens aus und werden und bleiben schiefrig, wenn nicht durch einen andern Vorgang (schweissendes Erhitzen bei Metallen, Verkleben durch Feuchtigkeit bei plastischen Thonen etc.) die Kohäsion auf diesen inneren Gleitflächen wieder nachträglich zur Wirkung gebracht wird.

Die Untersuchungen der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass die tangentiale (horizontale) Stauung in der Erdrinde, welche die Ursache von deren gewaltiger Faltung, das ist der Kettengebirgsbildung, ist, fast alle Gesteine gequetscht und dadurch deformiert hat. Die Gebirgsstauung war vorherrschend horizontal gerichtet, die Gesteine konnten am ehesten nach oben ausweichen. Die durch diese Stauung erzeugte Quetschschieferung steht deshalb am häufigsten steil und verläuft (»streicht«) parallel den Gebirgsketten. Die Quetschschieferung kann massige Eruptivgesteine schiefrig machen (aus Graniten und Porphyren Gneisse und Sericitschiefer erzeugen), sie kann aus massigen Kalksteinen Kalkschiefer bilden, aus Thongesteinen Thonschiefer. Sie wirkt auf die verfestigende Umwandlung der Thonschiefer natürlich so gut befördernd, wie der Druck durch einfache Last des Überliegenden. Sie kann auch im einzelnen Handstück ganz identisch sich gestalten wie die unter II B besprochene Belastungsschieferung. Die Gebirgsstauung befördert aber die Ausbildung der Schieferung oft noch weit stärker, weil hier die Kompression in der einen Richtung viel unbeschränkter ist und viel weiter gehen kann, und Ausweichen in der entgegenstehenden Richtung oft in unbegrenztem Masse möglich ist. Was das Clivage besonders noch von der Belastungsschieferung unterscheidet, ist die horizontale Richtung der zusammendrückenden Kraft, die eine meistens steile Lage des Clivage zur Folge hat.

1. Das Clivage oder die Quetschschieferung kann zufällig *parallel* den Schichten und der Belastungsschieferung werden und sich zu diesen addieren.

2. In der Regel *schneidet* das Clivage die Schichtung, und damit auch die ursprüngliche Schieferung und die Belastungsschieferung: es tritt auf als *Transversalschieferung*, unabhängig

von der Lage der Schichtung. Da in den Kettengebirgen die Schichten gefaltet sind und deshalb in alle Lagen sich drehen, finden wir von Stelle zu Stelle Clivage und Schichtung bald zusammenfallend, dann ihren Winkel wechselnd bis zum senkrechten Schnitt. Transversalschieferung ist also die *normale* Form der durch Gebirgsstauung entstandenen Schieferung.



Transversalschieferung in gefalteten Schichten.

Fig. 14.

Diese Stauungsschieferung hat ferner, wo sie transversal auftritt, folgende Merkmale:

Spaltbarkeit in beliebige Dicke und Schieferflächen beidseitig gleich wie bei II überhaupt, hingegen keine Petrefakten auf den Schieferungsflächen. Wo solche vorhanden sind, laufen sie quer zur Schieferung und sind stets stark deformiert, zusammengedrückt senkrecht zur Schieferungsrichtung, oft aufs sonderbarste verschoben. Die Schieferung stösst schief oder senkrecht ab am Gesteinswechsel an der Grenze der Schiefermasse, d. h. an anderer Schicht. Die Schichtfugen sind haupt-

sächlich nahe den Umbiegungsscheiteln der Falten steil zur Transversalschieferung gestellt, hier gestaut und deshalb kraus gefältelt, oft klaffend und mit Sekretionen gefüllt und die Schichten dicker. Wo hingegen die Schichtfugen einen ganz spitzen Winkel mit der Transversalschieferung bilden, d. h. an den Faltenmittelschenkeln, sind sie glatt, die Schichten dünner und ausgewalzt (Fig. 14).

Beispiel von Thonschiefern mit reiner Stauungsschieferung: » Massenschiefer « von Elm (Kt. Glarus). Dieselben liefern, weil sie sehr gleichförmig, dünnspaltbar, schwarz und fein sind, vortreffliche Schreibtafeln, Griffel etc.; sie sind aber als Dachplatten schlecht, weil sie verwitternd stets weiter auseinanderblättern.

Bei den Stauungsschiefern, und *nur* bei diesen, kommt noch eine sehr merkwürdige Erscheinung manchmal hinzu: Auf der Schieferfläche sehen wir mehr oder weniger deutlich eine geradlinige Streifung in einer bestimmten Richtung. Diese Streifungsrichtung geht oft gleichförmig weit durch die Schiefergebirgsmasse hindurch. Viele Schieferplatten sind in dieser Streifungsrichtung leichter brechbar, als quer dazu, und es ist in diesem Falle nicht gleichgültig, in welcher Lage die Dachplatten aus dem gestreiften Schiefer herausgeschnitten werden. Meistens steht im Gebirge die Streifungsrichtung in der Schieferung steil, d. h. sie weicht nicht weit von der Fallrichtung der Schieferung ab, sie geht also in der Richtung, nach welcher der gequetschte Schiefer ausweichen konnte, das ist nach oben. Wo die Streifung mit Petrefakten oder Geröllen, Farbflecken etc. zusammen im Gesteine erscheint, da sieht man sofort Streckung dieser Gestalten in der Richtung der Streifung. Manche Versteinerungen können da auf die 10-, 20- und selbst 30fache ursprüngliche Länge ausgezogen oder in einzelne Stücke auseinander gerissen sein. Es ist hier nicht der Ort, auf alle diese merkwürdigen Erscheinungen der Deformation der Gesteine bei der Gebirgsbildung näher einzutreten. Für unseren Zweck gebrauchen wir nur die Erkenntnis, dass die Streifung auf den Clivageflächen von dem *einseitigen Ausweichen* des Gesteines unter Druck herrührt, eine Fliessrichtung im Gesteine darstellt, und dass sie als *Linearstreckung* bezeichnet wird. Selbstverständlich soll mit diesem Worte nicht gesagt werden, dass *Zug* im Spiele war, vielmehr streckten sich

die Gesteinspartikelchen eben in derjenigen Richtung, in welcher der Druck am geringsten war, wohin sie also ausweichen konnten, ähnlich wie Farbflecken in einer Flüssigkeit oder einem Brei sich beim Strömen in Fäden linear strecken. Die Linearstreckung kann bei verschiedenen Gesteinen, auch bei Thonschiefern, so weit gehen, dass das Gestein in vierkantige Stäbe oder Stengel und Griffel zerfällt, bei welchen zwei Ebenen durch die Clivageflächen, die zwei abwechselnden durch die Linearstreckung gebildet sind.

Es sind also zu unterscheiden:

1. *Clivage ohne Linearstreckung* (Fig. 13).
2. » *mit* schwacher *Linearstreckung*
   » mit deutlicher » (Fig. 15)
   » mit starker »

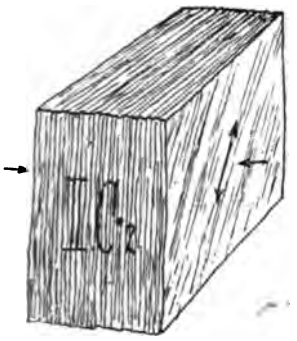


Fig. 15.

Alle Fälle können eintreten, sowohl wenn das Clivage der Schichtung parallel läuft, als auch wenn es eine Transversalschieferung ist.

Endlich ist hier noch einer grossen Komplikation zu gedenken, von deren Auftreten viele verworrene Schiefer in den Alpen Zeugnis geben: Ein erstes Clivage entsteht in der ersten Phase der Gebirgsfaltung. Die fortgehende Gebirgsbildung dreht die schon transversal geschieferte Gesteinsmasse in eine ganz andere Stellung, so dass die neue oder die fortdauernde Stauung abermals eine Transversalschieferung erzeugt, welche die erstgebildete stört, sich mit ihr kreuzt, sie vielleicht schliesslich grösstenteils verwischt. Die gleiche Umbildung kann sich fortlaufend gestalten. Die entstandene Schieferung wird jeweilen in einer späteren Phase wieder von einer neuen gequert oder aufgehoben. So gibt es Gesteine, an welchen in verschiedener Ausbildung gleichzeitig mehrere sich schneidende Transversalschieferungen erkennbar sind. Gute Dachschiefer werden auf diese Weise nicht gebildet, es sei denn dass eine letzte gewaltige Kompression ohne neue Stellungsveränderung eintritt und das Gestein gänzlich in ihrem Sinne umformt.

Jede der genannten Schieferungsarten I, II A, B und C kann für sich allein so gut und rein ausgebildet sein, dass sie gute Dachschiefer liefert.

III.

Kombinationen.

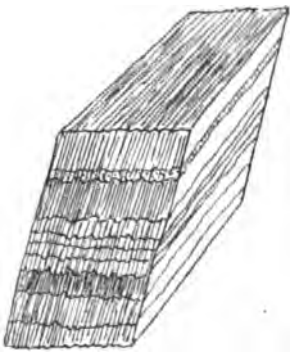


Fig. 16, I u. II C.

Die genannten verschiedenen, die Schieferungen im weitesten Sinne des Wortes erzeugenden Vorgänge schliessen sich aber gegenseitig gar nicht aus. Zwei oder sogar mehr derselben können gleichzeitig oder zeitlich nacheinander auf das gleiche Gestein einwirken. Gute Schieferung, die brauchbare Dachschiefer oder Schreibtafeln etc. liefern kann, werden wir natürlich nur dann finden, wenn entweder:

1. Die verschiedenen Schieferungsarten im gleichen Gestein parallel liegen, so dass sie sich in ihrer Wirkung verstärken, nicht stören

oder:

2. Bei ungleicher Lage verschiedener Schieferungen die eine Schieferungsart fast ganz vorherrscht und die andere verwischt.

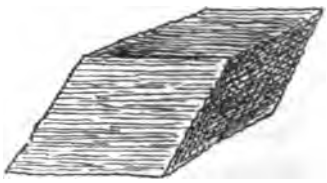


Fig. 17, II B u. II C.

Die Erzeugung von Clivage ist gewöhnlich der spätere Prozess. Es kommt sehr häufig vor, dass die Transversalschieferung das Gestein vollständig und gründlich umformt, jede Spur der älteren ursprünglichen oder Belastungsschieferung vollständig verwischt und einheitliche gute Schieferung erzeugt. In allen andern, als den oben mit 1. und 2. bezeichneten Fällen werden die Kombinationen die Ausbildung guter Dachschiefer unmöglich machen. (Fig. 16 und Fig. 17.)

Man kann sich nun leicht ausdenken, welche Mannigfaltigkeit diese Kombinationen verschiedener Schieferungsarten in die Textur der Thonschiefer zu bringen vermögen. Oft ist ein Dachschiefer an einer Stelle gut, an einer benachbarten wird er noch durch eine andere Schieferungsart gekreuzt. Wenn die letztere auch nur ganz schwach entwickelt ist, so ist er dadurch doch schon verdorben, uneben oder querbrüchig geworden. Ein genaueres Beachten dieser Dinge wird gewiss manche Erscheinung aufklären. Wir können auch keine bestimmteren Regeln aufstellen als obige Sätze 1 und 2. Es ist erst genau zu prüfen und zwar nicht nur am Schiefer und wo er längst verwendet worden ist, sondern im Schieferbruch und seiner Situation im umliegenden Gebirge.

In tabellarischer Übersicht ergeben sich also folgende Schieferungsarten:

I. Dünnschichtung (Plattung, uneigentliche Schieferung)
II. Wirkliche Schieferung
  A. Ursprüngliche Absatzschieferung
  B. Belastungsschieferung (Konsolidationsschieferung)
  C. Stauungsschieferung (Clivage, Quetschschieferung)
    a. Parallelclivage
    b. Transversalschieferung
      1. ohne Linearstreckung
      2. mit Linearstreckung
        α. einmalig
        β. wiederholt
III. Kombinationsschieferungen.

Zum Abschluss mögen noch einige Beispiele über Kombinationsschieferungen folgen:

1. *Massenschiefer von Elm* im Kt. Glarus. Der Schiefer ist aus einem weichen Thonschiefer gebildet. Die Schieferung parallel der Schichtung ist durch Transversalschieferung vollständig aufgehoben und zerstört worden, der Schiefer ist jetzt ein Clivageschiefer, Schieferung also II. B. zerstört und übertönt durch II. C. b.

2. *Griffelschiefer vom Geissstaffel im Sernfthal.* Hier kombinieren sich einerseits ursprüngliche Schieferung und Belastungsschieferung mit Transversalschieferung ohne Linearstreckung andererseits. Beide sind deutlich und ungefähr gleich stark aus-

gebildet. Das Thonschiefergestein zerfällt dadurch in natürliche Griffel, die als solche verwertet worden sind. Schieferung also = II. A. + II. B. + II. C. b.

3. *Griffelschiefer* von anderen Stellen im *Sernfthal* sind entstanden aus Transversalschieferung mit starker Linearstreckung unter gänzlichem Verwischen der älteren Parallelschieferungen. Schieferung = II. B. zerstört durch II. C. b. 2.

4. *Plattenschiefer von Engi im Sernfthale.* Dieselben sind Dünnschichtung, oft kombiniert mit Clivage, welches der Schichtung parallel geht. Dieses Clivage zeigt ziemlich deutliche Linearstreckung, welche die auf den Platten liegenden Fischversteinerungen verstreckt hat, also Kombination von Dünnschichtung (älter als die Alpenstauung) mit Clivage und Linearstreckung (durch Alpenstauung). Wenn man die Lager der guten Plattenschiefer weiter verfolgt, so ändern sie an einer gewissen Stelle ihre Beschaffenheit, sie werden » wild «, d. h. unbrauchbar dadurch, dass dort Clivage und Dünnschichtung sich unter schiefem Winkel schneiden, das macht die Platten uneben und querbrüchig. Schieferung = I + II. C. a. 2.

5. Dachschiefer von *Salvan* haben eine Schieferung, welche entstanden ist durch Parallelität und Zusammenwirken von etwas ursprünglicher Schieferung, ausgeprägter Belastungsschieferung (diese beiden älter als die Alpenfaltung), dann Stauungsschieferung, welche in den senkrecht geklemmten Thonschiefern sich auch senkrecht durchgebildet hat. Schieferung = II. B. + II. C. a., schwach 2.

6. Sehr viele der Dachschiefer von Belgien und aus dem Taunus sind vorherrschend ursprüngliche und Konsolidationsschiefer, bei manchen erscheint Clivage dazu, bei wenigen Clivage unter Verwischen der älteren Parallelschieferungen vorzukommen.

Zahlreicher als die günstigen Fälle, wo sich die verschiedenen Schieferungen parallel unterstützen oder wo eine vorherrscht und die andern verwischt sind, sind die ungünstigen, sich störenden Kombinationen, welche diejenigen zahllosen technisch nicht verwendbaren querbrüchigen oder gekräuselten, unebenen etc. Thonschieferarten ergeben, welche die Schieferbrecher als » wilde « Schiefer bezeichnen. Dazu kommen noch weitere Erscheinungen, wie Spaltungen, Streckrisse etc., Dinge, die oft

nicht im direkten Zusammenhang mit der Ausbildung der Schieferung stehen. Mancher gute Schiefer ist durch die Zerknitterung der Erdrinde bei der Gebirgsbildung verdorben, mancher aber auch eben gequetscht worden. Im Laufe der Zeit haben die verschiedensten Schicksale die Schiefer im Gebirge beeinflusst und wenige sind daraus mit derjenigen Einseitigkeit des Charakters hervorgegangen, die wir für technische Zwecke wünschen. Die Erdrinde ist voll von Thonschiefern, allein die edlen, wetterfesten und ebenen Thonschiefer sind die seltenen Vorkommnisse darin, die mühsam aus den andern herausgesucht werden müssen.

Vielleicht wird es uns später gelingen, etwas klarer noch die Beziehungen der genannten, bei der Entstehung der Schiefer massgebenden Einflüsse und Wirkungen zur Beschaffenheit und Verwendbarkeit der Thonschiefer festzustellen.

b. Resultate der chemisch-physikalischen Untersuchungen.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Fundort des Materials	Herkunft der Probe	Alter der Probe	Lage des Objektes bezügl. der Himmelsrichtung	Geolog. Alter	Farbe der Probe	Struktur-Verhältnis
			α. Geologisches Alter, Farbe und Struktur.					
			Einsender: *Mermoud & Cie., Saxon (Wallis).*					
1	A	Saxon	Vom Lager	—	—	Carbon	graphitgrau	homogen, dünnschiefrig
			Einsender: *Jos. Arlettaz, Sembrancher (Wallis).*					
2	C	Sembrancher	Vom Lager	—	—	Carbon	graphitgrau	homogen, dünnschiefrig
			Einsender: *Commune de Salvan (Wallis).*					
3	D	Salvan	Vom Lager	—	—	Carbon	graphitgrau	homogen, dünnschiefrig
			Einsender: *Département des travaux publics du Canton de Valais, Sion.*					
4	B 1	Vernayaz	Caserne de Sion	9	Süd	Carbon	schiefergrau	glimmerreich, homog. wellig
5	B 2	»	» » »	9	Nord	»	»	glimmerreich, homog. wellig
6	B 3	»	Bâtiment de voyageurs	17	Süd	»	»	sericitisch, homog. wellig
7	B 4	»	gare de Brigue	17	Nord	»	»	sericitisch, homog. wellig
8	B 5	»	Eveché Sion	56	West	»	»	glimmerig, homog. rauh
9	B 6	»	» »	56	Ost	»	»	glimmerig, homog. wellig
10	B 7	Leytron	Eglise de Collège Sion	8	Süd	jurassisch	»	homog. rauh, zieml. ebenflächig
11	B 8	»	Hôtel de ville, Martigny	29	Süd	»	»	homog. rauh, zieml. wellig
12	B 9	»	» » » »	29	Nord	»	»	homog. rauh, zieml. wellig
13	B 10	Mex	Nouveau Collège Sion	4	Süd	Eoc. (flysch)	graphitgrau	homog. eben, glatt
14	B 11	»	» » »	4	Nord	» »	»	homog. eben, glatt
15	B 12	Dorenaz	Hôtel de Gouvernement, Sion	10	West	Carbon	»	glimmerr., homog, zieml. eben, wellig
16	B 13	Sembrancher	Hôtel de ville, Sion	15	Süd	jurassisch	schiefergrau	homog. ebenflächig ziemlich glatt
			Einsender: *Direktion der öffentlichen Arbeiten des Kantons Bern, Bern.*					
17	E 1	Fruttigen	Kant. Strafanstalt Bern	65	Süd	Eoc. (flysch)	graphitgrau	homog. dünnblättrig, eben
18	E 2	»	» » »	65	Nord	» »	»	—

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Fundort des Materials	Herkunft der Probe	Alter der Probe	Lage des Objektes bezügl. der Himmelsrichtung	Geolog. Alter	Farbe der Probe	Struktur-Verhältnis
Einsender: *Département de l'Agriculture et du Commerce du Canton de Vaud, Lausanne*								
19	F 1	Fumay (Ardennen, France)	Bâtiment à louer, Lausanne	1	Ost-West	Unt.-Silur (Cambr.)	dunkel-violett	homog., eben, mit Linearschichtung
20	F 2	» »	Département militaire, Lausanne	5	Ost-West	Unt.-Silur (Cambr.)	»	homogen, eben, dünnschiefrig
21	F 3	» »	Cathédrale, Lausanne	19	Süd-Nord	Unt.-Silur (Cambr.)	»	homog., eben, einseitig ziemlich rauh
22	F 4	Vernayaz	Ecole de Chimie, Lausanne	3	Ost-West	Carbon	hellgrau	glimmerreich, rauh, uneben
23	F 5	»	Ecole de Physique, Lausanne	14	Ost-West	»	bläulichgrau	sericit., glimmerr., zieml. wellig, homog.
24	F 6	»	Hôpital cant., Lausanne	14	Süd-Nord	»	hellgrau	glimmerreich, uneben, homogen
25	F 7	Salvan	Hôpital Pavillon, Lausanne	18	Süd-Nord	»	»	glimmerreich, homogen, eben
Einsender: *Architekt Kirchen, schweiz. Nordostbahn, Zürich.*								
26	G 1	Unbekannt	Bahnhofhalle Winterthur	15	?	Eocen (?)	graphitgrau	ebenflächig, homog., dünnblättrig
27	G 2	Alle, Luxemburg	» »	15	?	Silur (?)	»	homog., zieml. rauh, schwach wellig
28	H 1	Ragaz (Engi?)	Lagerhaus, Bahnhof Zürich	20	?	Eoc. (flysch)	grau	unhomog., ähnlich No. 34
Einsender: *Albert Bauert, Dachdeckermeister, Zürich.*								
29	I 1	Alle, Luxemburg,	Vom Lager	0	—	Silur (?)	dunkelgrau	pyritschüssig, zieml. glatt, Linearstreck.
30	I 2	Rimogne, Ardennen (France)	» »	0	—	Unt.-Silur	grün	Sericit. m. Magnetiteinspr., eben, z. rauh
31	I 3	Limery-Fumay	» »	0	—	»	violett	homog., zieml. eben, schwach Linearstr.
32	I 4	Rimogue	» »	0	—	»	hellgrünl. grau m. grün. Adern	homog., ebenflächig, glatt
33	I 5	Herbemont, Luxemburg	» »	0	—	Unt.-Devon	dunkelgrau	pyritschüss. schwach well. m. Linearstreif.
34	I 6	Plattenberg, Engi*)	Von einem Privatbau Zürich	15	?	Eoc. (flysch)	graphitgrau	Unhomog., einseitig eben und härter als auf der andern Seite
35	I 7	» »	» » » »	5	?	»	»	
Einsender: *A. Tobler, Sektions-Ingenieur, schweiz. Nordostbahn, Zürich.*								
36	K 1	Plattenberg, Engi*)	Schuppengebäude Mitlödi	17	Nord	Eoc. (flysch)	schiefer-bis graphitgrau	glimmerr., unhomog. ebenfl., ähnl. No. 34
37	K 2	» »	Abtrittgebäude Schwanden	17	»	»	schiefer-bis graphitgrau	wie No. 36, einseitig wellig
38	K 3	» »	Stationsgebäude Nidfurn	17	Süd	»	schiefer-bis graphitgrau	wie No. 36, ebenflächig
39	K 4	» »	Stationsgebäude Luchsingen	1	Nord	»	graphitgrau	wie No. 36, einseit. wellig, höckerig
40	K 5	» »	Abtrittgebäude Diessbach	17	Süd	»	schiefergrau	wie No. 36, ebenflächig
41	K 6	» »	Schuppengebäude Rüti	17	Nord	»	»	wie No. 36
42	K 7	» »	Stationsgebäude Lintthal	9	»	»	graphitgrau	wie No. 36
43	K 8	» »	Magazin Ennenda	17	»	»	»	wie No. 36

*) Bruch: Kantons- oder Landesplattenbruch Engi, Kanton Glarus.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Fundort des Materials	Herkunft der Probe	Alter der Probe	Lage des Objektes bezügl. der Himmelsrichtung der Probe	Geolog. Alter	Farbe der Probe	Struktur-Verhältnis
			Einsender: *Gebr. Pinösch, Vulpera.*					
44	L 1	Unbekannt	Vom Lager	0	—	Lias (?)	schiefergrau	homog., uneben rauh
			Einsender: *Sammlung der Materialprüfungsanstalt Zürich.*					
45	M 1	Meyringen	Landesausstellung 1883	0	—	jurassisch (Oxford ?)	graphitgrau	homog. dünnschiefr., eben, lokal knollig
46	N 1	Engi, Akt.-Ges. Stauffacher	Polytechnikum Zürich	20	?	Eoc. (flysch)	»	nicht hom., 1 hart. u. 1 w. Seite, sch. w. well.
47	O 1	Plattenberg, Engi	Vom Lager	0	—	»	dunkel-graphitgrau	wie vorher., eben-flächig, mässig rauh
48	O 2	Schieferbruch-Ges. Engi	» »	0	—	»	schiefergrau	glimmerreich, einseit. eben, sonst wie vorh.
49	O 3	Plattenberg, Elm	» »	0	—	»	»	homog. ebenflächig, mässig glatt
			Einsender: *Kantonsingenieur Gremaud, Freiburg.*					
50	P 1	Fruttigen (?)	Préfecture de Fribourg	100	Nord	Eoc. (flysch)	schiefergrau	homog., dünnblättrig, eben
51	P 2	Vernayaz (?)	Chancellerie de Fribourg	20	»	Carbon	bläul. grau	sericitisch, zieml. wellig, homog.
52	P 3	Vernayaz	Poste de Gendarmerie	15	»	»	grau	sericit., zieml. eben, glimmerr., homog.
53	P 4	Leytron (?)	Hôtel cantonale Fribourg	19	»	jurassisch	schiefergrau	homogen, eben, dünnblättrig
54	P 5	Vernayaz (?)	Cabanons d. grands ponts, Frib.	18	»	Carbon	bläul. grau	sericitisch, zieml. wellig, homogen
55	P 6	Salvan	Valsanite Gruyère, Fribourg	15	»	»	schiefergrau	homog., glimmerreich, eben
56	P 7	Sembrancher(?)	Pensionat de Fribourg	?	»	»	»	homogen, einseitig eben
57	P 8	Mex (?)	Gare de J.-S., Flamatt	37	»	Eoc. (flysch)	graphitgrau	glimmerr., zieml. eben, homogen
58	P 9	Salvan? (Vernayaz?)	Eglise Attalens	37	»	Carbon	hellgrau	glimmerreich, rauh, ziemlich eben, homogen
59	P 10	» »	Maison de ville, Attalens	41	»	»	grau	
60	P 11	Salvan	Chapelle Attalens	37	»	»	schiefergrau	homog., dünnschiefr., zieml. glimm., eben
61	P 12	Fumay, Ardennen	Gare du J.-S. Flamatt	37	Süd	Unter-Silur (Cambrien)	dunk.-violett	homogen, eben, dünnschiefrig
			Einsender: *Alb. Bauert, Dachdeckermeister, Zürich.*					
62	Q 1	Chiavari (Italien)	Vom Lager	—	—	Eoc. (flysch)	graphitgrau	homogen, eben, dünnschiefrig

β. Dicke und Oberflächenbeschaffenheit der Schiefer.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Mittl. Dicke der Platten in cm	Beschaffenheit der Probe bei deren Einlieferung
			Einsender: *Mermoud & Cie., Saxon.*
1	A	0,42	Vollkommen intakt, heller Klang
			Einsender: *Jos. Arlettaz, Sembrancher.*
2	C	0,47	Vollk. intakt, heller Klang
			Einsender: *Commune de Salvan.*
3	D	0,55	Vollk. intakt, heller Klang
			Einsender: *Département des travaux publics, Sion.*
4	B 1	0,58	Vollk. intakt, heller Klang
5	B 2	0,47	» » » »
6	B 3	0,82	» » » »
7	B 4	0,78	» » » »
8	B 5	0,48	» » » »
9	B 6	0,52	» » » »
10	B 7	0,75	» » » »
11	B 8	0,82	» » » »
12	B 9	0,70	» » » »
13	B 10	0,60	» » » »
14	B 11	0,66	» » » »
15	B 12	0,45	» » » »
16	B 13	0,74	Längs der Traufkante aufgespalt., stellenweise dumpfer Klang
			Einsender: *Direktion der öffentlichen Arbeiten Bern.*
17	E 1	c. 0,95	stark verwittert, mürbe, abgeblättert
18	E 2	c. 0,95	» » » »
			Einsender: *Département de l'Agriculture et du Commerce, Lausanne.*
19	F 1	0,32	Vollk. intakt, heller Klang
20	F 2	0,30	» » » »
21	F 3	0,57	» » » »
22	F 4	c. 1,2 (?)	» » » »
23	F 5	c. 1,1 (?)	» » » »
24	F 6	c. 0,7 (?)	» » » »
25	F 7	0,56	» » » »
			Einsender: *Architekt Kirchen, Zürich.*
26	G 1	0,40	Oberflächl. mürbe, verwittert, ohne Abblätterg. mässig dumpf. Klang
27	G 2	0,45	Oberfläche schwach verwittert, nicht mürbe, heller Klang
28	H 1	0,82	Vollk. intakt, heller Klang *)
			Einsender: *Albert Bauert, Zürich.*
29	I 1	0,40	Vollk. intakt, heller Klang
30	I 2	0,34	» » » »
31	I 3	0,28	» » » »
32	I 4	0,36	» » » »
33	I 5	0,30	» » » »
34	I 6	0,75	Auf der einen Seite in Abblätterung begriffen, mässig heller Klang
35	I 7	0,82	Genau wie bei No. 34
			Einsender: *A. Tobler, Sekt.-Ingenieur, Zürich.*
36	K 1	c. 0,80	Teilweise aufgespalten, in Abblätterung begriffen
37	K 2	c. 0,50	Beginn der Aufspaltung, mässig dumpfer Klang
38	K 3	c. 0,45	Aufgespalten, Ränder stellenweise mürbe
39	K 4	c. 0,85	Vollk. intakt, heller Klang

*) Die eingelieferte Musterplatte lag wohl an geschützter Stelle, denn weitaus der grösste Teil der Schiefer war, morsch und verwittert, und zerfiel beim Umdecken des Lagerhauses in losen Schutt.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Mittl. Dicke der Platten in cm	Beschaffenheit der Probe bei deren Einlieferung
40	K 5	c. 0,70	Stark aufgespalten, in Abblätterung begriffen
41	K 6	c. 0,70	Aufgespalten, in Abblätterung begriffen
42	K 7	c. 0,70	Aufgespalten, oberflächl. teilweise abgeblättert
43	K 8	c. 0,50	In Abblätterung begriffen, mässig dumpfer Klang
	Einsender: *Gebr. Pinösch, Vulpera.*		
44	L 1	c. 1,10	Zur Abblätterung geneigt, intakt, heller Klang
	Einsender: *Sammlung der Materialprüfungsanstalt Zürich.*		
45	M 1	c. 0,40	Vollk. intakt, heller Klang
46	N 1	0,75	Örtlich gespalten und abgeblättert, mässig dumpfer Klang
47	O 1	0,53	Vollk. intakt, heller Klang
48	O 2	c. 0,90*)	» » » »
49	O 3	0,35	» » » »
	Einsender: *Kant.-Ing. Gremaud, Freiburg.*		
50	P 1	c. 0,66	Örtlich aufgespalten, dumpfer Klang
51	P 2	c. 0,75	Vollk. intakt, heller Klang
52	P 3	c. 0,55	» » » »
53	P 4	c. 0,60*)	In Abblätterung begriffen, Kanten örtlich mürbe, Klang wechselt
54	P 5	0,6–0,8	Vollk. intakt, heller Klang
55	P 6	0,42	» » » »
56	P 7	c. 0,90	» » » »
57	P 8	c. 0,92	» » » »
58	P 9	c. 0,85	» » » »
59	P 10	0,6–0,8	» » » »
60	P 11	c. 0,60	» » » »
61	P 12	c. 0,35	» » » »
	Einsender: *Alb. Bauert, Dachdeckerm., Zürich.*		
62	Q 1	0,22–0,40**)	Vollk. intakt, heller Klang

*) Dicke der Platten schwankt zwischen 0,55 und 0,90 cm.
**) Eine Platte 0,22, die andere 0,40 cm.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Chemische Zusammensetzung der Schiefer; Gehalt in % an:									
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$CaCO_3$	$MgCO_3$	$CaSO_4$	FeS_2	H_2O + Bit.
		***y.* Chemische Zusammensetzung.** Mittel aus 2 Bestimmungen.									
		Einsender: *Mermoud & Cie., Saxon (Wallis).*									
1	A	58,10	22,72	8,01	—	1,78	1,91	0,39	Spur	0,25	5,00
		Einsender: *Jos. Arlettaz, Sembrancher (Wallis).*									
2	C	55,24	21,19	6,75	—	1,74	4,49	1,86	0,06	0,58	4,53

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Chemische Zusammensetzung der Schiefer; Gehalt in % an:									
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$CaCO_3$	$MgCO_3$	$CaSO_4$	FeS_2	H_2O + Bit.
	Einsender: *Commune de Salvan (Wallis).*										
3	D	58,62	24,43	5,69	0,37	0,82	0,25	—	0,07	0,02	4,46
	Einsender: *Département des travaux publics du Canton de Valais, Sion.*										
4	B 1	60,64	20,48	6,46	0,00	2,13	0,20	0,21	Spur	0,10	4,97
5	B 2	—	—	—	—	—	Spur	—	Spur	0,07	—
6	B 3	—	—	—	—	—	Spur	—	Spur	0,05	—
7	B 4	—	—	—	—	—	Spur	—	Spur	0,05	—
8	B 5	—	—	—	—	—	0,16	—	0,00	0,07	—
9	B 6	—	—	—	—	—	0,16	—	0,00	Spur	—
10	B 7	56,49	7,15	1,75	0,00	0,99	25,35	3,31	0,32	1,46	2,31
11	B 8	—	—	—	—	—	26,43	—	0,28	1,07	—
12	B 9	—	—	—	—	—	26,43	—	0,28	1,07	—
13	B 10	44,91	16,65	4,56	0,47	2,99	23,39	0,00	0,04	0,43	4,54
14	B 11	—	—	—	—	—	22,86	—	0,10	0,59	—
15	B 12	56,22	24,22	6,79	0,44	1,01	1,28	0,00	0,08	0,28	5,48
16	B 13	49,59	20,77	5,26	0,00	0,81	10,70	2,56	0,07	1,89	5,05
	Einsender: *Direktion der öffentlichen Arbeiten des Kantons Bern, Bern.*										
17	E 1	37,67	9,91	3,20	0,34	2,23	44,89	0,00	0,12	0,53	3,00
18	E 2	—	—	—	—	—	44,89	0,00	0,17	0,49	—
	Einsender: *Département de l'Agriculture et du Commerce du Canton de Vaud, Lausanne.*										
19	F 1	59,28	20,47	8,39	0,00	2,04	0,12	0,30	Spur	Spur	3,91
20	F 2	—	—	—	—	—	0,40	—	0,05	0,01	—
21	F 3	—	—	—	—	—	0,11	—	0,05	0,03	—
22	F 4	59,07	25,85	4,00	0,47	1,71	Spur	0,00	Spur	Spur	4,30
23	F 5	—	—	—	—	—	Spur	0,00	Spur	0,02	—
24	F 6	—	—	—	—	—	Spur	0,00	0,08	0,28	—
25	F 7	64,28	22,49	4,22	0,00	1,55	0,00	0,00	Spur	Spur	2,66

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Chemische Zusammensetzung der Schiefer; Gehalt in % an:									
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$CaCO_3$	$MgCO_3$	$CaSO_4$	FeS_2	H_2O + Bit.
	Einsender: *Architekt Kirchen, schweiz. Nordostbahn, Zürich.*										
26	G 1	31,36	12,00	3,64	0,00	2,51	43,50	0,50	1,19	0,45	4,00
27	G 2	53,01	17,79	7,88	0,00	1,60	5,95	2,86	0,15	0,63	5,23
28	H 1	44,37	15,13	4,21	0,00	0,46	20,29	7,12	0,17	0,73	3,39
	Einsender: *Alb. Bauert, Dachdeckermeister, Zürich.*										
29	I 1	54,53	18,11	7,56	0,00	1,91	6,55	2,48	Spur	1,21	4,37
30	I 2	58,93	17,82	11,81	0,00	1,93	Spur	1,43	0,00	0,06	2,85
31	I 3	60,44	19,26	8,94	0,13	3,25	0,80	0,00	Spur	0,21	3,16
32	I 4	58,64	20,37	8,56	1,38	3,74	0,14	0,00	0,00	0,04	3,38
33	I 5	55,67	20,27	5,73	0,00	2,36	5,95	1,00	Spur	0,77	4,43
34	I 6	45,08	12,72	4,52	0,00	2,48	25,68	3,46	0,09	0,62	3,04
35	I 7	43,43	14,44	4,90	0,00	2,22	28,57	2,10	Spur	0,72	3,10
	Einsender: *A. Tobler, Sekt.-Ing., schweiz. Nordostbahn, Zürich.*										
36	K 1	46,56	13,79	3,95	0,00	1,91	23,95	1,16	0,29	0,58	3,29
37	K 2	—	—	—	—	—	26,73	—	0,30	0,57	—
38	K 3	—	—	—	—	—	26,25	—	0,65	0,75	—
39	K 4	—	—	—	—	—	25,84	—	0,30	0,58	—
40	K 5	43,47	13,48	4,49	0,00	2,15	28,29	1,72	0,16	0,73	3,33
41	K 6	—	—	—	—	—	28,13	—	0,14	0,73	—
42	K 7	—	—	—	—	—	24,70	—	Spur	0,94	—
43	K 8	—	—	—	—	—	25,84	—	Spur	0,41	—
	Einsender: *Gebr. Pinösch, Vulpera.*										
44	L 1	24,94	6,65	1,87	0,00	0,93	59,34	2,94	0,24	1,01	1,84
	Einsender: *Sammlung der Materialprüfungsanstalt Zürich.*										
45	M 1	49,48	16,78	5,49	0,00	3,17	18,71	0,00	0,43	0,89	5,01
46	N 1	45,47	14,62	4,38	0,00	1,33	25,39	1,32	0,29	0,64	1,43
47	O 1	43,97	14,32	3,16	0,00	2,27	28,49	2,32	0,06	0,66	2,96
48	O 2	44,13	14,80	3,03	0,00	2,01	27,28	3,35	0,04	0,40	2,42
49	O 3	36,46	13,29	2,86	0,70	3,35	39,18	0,00	0,07	0,69	3,64

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Chemische Zusammensetzung der Schiefer; Gehalt in % an:									
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$CaCO_3$	$MgCO_3$	$CaSO_4$	FeS_2	H_2O +Bit.
		Einsender: *Kantonsingenieur Gremaud, Freiburg.*									
50	P 1	37,23	12,08	3,25	0,00	2,51	39,35	0,27	0,24	0,49	3,16
51	P 2	59,59	25,67	3,14	0,56	1,08	0,00	0,00	0,08	0,03	3,93
52	P 3	57,33	27,44	3,86	0,36	1,18	0,00	0,00	0,09	0,06	4,18
53	P 4	55,95	9,39	1,99	0,00	1,90	22,00	2,96	0,20	1,43	2,97
54	P 5	60,69	23,26	4,43	0,25	1,25	0,00	0,00	0,05	0,05	3,84
55	P 6	61,76	21,18	5,45	0,45	1,66	0,00	0,00	0,05	0,04	3,77
56	P 7	59,02	24,65	4,03	0,28	1,46	0,00	0,00	0,12	0,10	3,98
57	P 8	46,18	14,74	4,45	0,00	1,96	23,91	2,02	0,05	0,40	3,36
58	P 9	58,39	22,66	7,20	0,41	1,50	0,16	0,00	0,07	0,04	3,92
59	P 10	60,28	22,61	4,06	0,26	1,34	1,27	0,00	0,07	0,11	3,85
60	P 11	59,05	25,99	2,67	0,30	1,12	0,11	0,00	0,10	0,03	4,00
61	P 12	60,42	19,18	8,35	0,45	2,27	0,80	0,00	0,06	0,03	3,40
		Einsender: *Alb. Bauert, Dachdeckermeister, Zürich.*									
62	Q 1	26,95	10,64	3,36	0,17	1,97	54,43	0,00	0,05	0,11	2,42

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Spezifisch. Gewicht des Materials	Raum-Gewicht	Wasseraufnahme in Gewichtsprozenten nach 48 Stunden	Wasseraufnahme in Gewichtsprozenten nach 28 Tagen	Höhe der Befeuchtung in cm nach 24 Std.	Porosität in Raum-Prozenten absolut	Porosität in Raum-Prozenten scheinb.	Verhalten in der Frostprobe
		δ. Physikalische Eigenschaften der Schiefer und deren Verhalten in der Frostprobe.							
		Einsender: *Mermoud & Cie., Saxon (Wallis).*							
1	A	2,83	2,80	0,78	0,83	0,0	1,0	2,4	unverändert
		Einsender: *Jos. Arlettaz, Sembrancher (Wallis).*							
2	C	2,82	2,80	0,42	0,60	0,0	0,7	1,6	unverändert
		Einsender: *Commune de Salvan (Wallis).*							
3	D	2,81	2,80	0,17	0,20	0,0	0,4	0,6	unverändert

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Spezifisch Gewicht des Materials	Raum-Gewicht	Wasseraufnahme in Gewichtsprozenten nach 48 Stunden	Wasseraufnahme in Gewichtsprozenten nach 28 Tagen	Höhe der Befeuchtung in cm nach 24 Std.	Porosität in Raum-Prozenten absolut	Porosität in Raum-Prozenten scheinb.	Verhalten in der Frostprobe
	Einsender: *Département des travaux publics du Canton de Valais, Sion.*								
4	B 1	2,79	2,76	0,39	0,42	0,1	1,1	1,2	unverändert
5	B 2	2,78	2,77	0,44	0,52	0,1	0,4	1,4	schwache Vergrösserung der ursprünglichen Spaltfugen
6	B 3	2,81	2,79	0,13	0,17	0,1	0,8	0,5	unverändert
7	B 4	2,79	2,76	0,64	0,72	0,1	1,1	2,0	eine Probe unveränd.. d. and. zeigt nach dem 10. Versuch Spaltvergröss.
8	B 5	2,80	2,80	0,12	0,19	0,1	0,0	0,5	unverändert
9	B 6	2,80	2,80	0,09	0,14	0,1	0,0	0,4	»
10	B 7	2,74	2,70	0,54	0,60	0,0	1,4	1,6	»
11	B 8	2,72	2,68	—	—	—	1,4	—	nicht ausgeführt
12	B 9	2,72	2,69	0,57	0,60	0,1	1,1	1,6	unverändert
13	B 10	2,75	2,75	0,41	0,43	0,0	0,0	1,2	»
14	B 11	2,78	2,76	0,29	0,32	0,0	0,7	0,9	»
15	B 12	2,85	2,81	1,15	1,21	0,1	1,4	3,4	»
16	B 13	2,84	2,79	1,41	1,74	0,2	1,8	4,9	n. 5-mal. Frostw.: Beginn d. Aufspalt. Ablösungen sind nicht erreicht word.
	Einsender: *Direktion der öffentlichen Arbeiten des Kantons Bern, Bern.*								
17	E 1	—	—	—	—	—	—	—	Frostproben wegen starker Verwitterung d. Materials nicht ausgeführt
18	E 2	2,73	2,69	0,82	0,89	0,1	1,4	2,4	nach 20-mal. Frostwirkung Beginn der Aufspaltung
	Einsender: *Département de l'Agriculture et du Commerce du Canton de Vaud, Lausanne.*								
19	F 1	2,86	2,83	0,24	0,26	0,0	1,1	0,7	unverändert
20	F 2	2,85	2,84	0,11	0,13	0,0	0,4	0,4	»
21	F 3	2,83	2,82	0,24	0,32	0,0	0,4	0,9	»
22	F 4	2,77	2,77	0,24	0,26	0,2	0,0	0,7	»
23	F 5	2,80	2,80	0,51	0,56	0,2	0,0	1,6	»
24	F 6	2,81	2,78	0,16	0,17	0,1	1,1	0,5	fast unverändert
25	F 7	2,79	2,78	0,12	0,15	0,1	0,4	0,4	unverändert
	Einsender: *Architekt Kirchen, schweiz. Nordostbahn, Zürich.*								
26	G 1	—	—	—	—	—	—	—	wegen Materialmangel nicht ausgeführt
27	G 2	2,83	2,78	0,61	0,64	0,1	1,8	1,8	nach 14-mal. Frostwirkung Beginn geringfügiger Abblätterung
28	H 1	2,77	2,75	0,52	0,54	0,1	0,7	1,5	unverändert

Lauf No.	Bezeichnung der Probe	Spezifisch. Gewicht des Materials	Raum-Gewicht	Wasseraufnahme in Gewichtsprozenten nach 48 Stunden	Wasseraufnahme in Gewichtsprozenten nach 28 Tagen	Höhe der Befeuchtung in cm nach 24 Std.	Porosität in Raum-Prozenten absolut	Porosität in Raum-Prozenten scheinb.	Verhalten in der Frostprobe
				Einsender: *Alb. Bauert, Dachdeckermeister, Zürich.*					
29	I 1	2,82	2,77	0,14	0,22	0,2	1,8	0,6	unverändert
30	I 2	2,88	2,80	0,15	0,28	0,0	2,8	0,8	»
31	I 3	2,85	2,83	0,15	0,17	0,1	0,7	0,5	»
32	I 4	2,85	2,82	0,12	0,18	0,0	1,1	0,5	»
33	I 5	2,79	2,74	0,51	0,63	0,0	1,8	1,7	»
34	I 6	2,78	2,74	0,48	0,49	0,1	1,4	1,3	nach 8-mal. Frostwirkung Beginn der Aufspaltung
35	I 7	2,76	2,74	0,56	0,59	0,0	0,7	1,6	unverändert
				Einsender: *A. Tobler, Sekt.-Ing., schweiz. Nordostbahn, Zürich.*					
36	K 1	2,77	2,73	0,31	0,34	0,1	1,4	0,9	nach 10-maliger Frostwirkung Beginn geringfügiger Abblätt.
37	K 2	2,76	2,70	0,72	0,73	0,3	2,2	2,0	nach 10-malig. Frostwirkung Beginn geringfüg. Aufspalt. u. Abblätt.
38	K 3	2,75	2,74	0,38	0,40	0,1	0,4	1,1	nach 7-maliger Frostwirkung Beginn kleiner Abblätterung.
39	K 4	2,77	2,73	0,32	0,35	0,2	1,4	1,0	unverändert
40	K 5	2,78	2,70	0,56	0,59	0,0	2,9	1,6	nach 24-maliger Frostwirkung einseitig schwache Abblätt.
41	K 6	2,78	2,73	0,37	0,39	0,0	1,8	1,1	ähnlich wie vorher; eine Probe unverändert
42	K 7	2,76	2,75	0,69	0,71	0,1	0,4	1,0	unverändert
43	K 8	2,78	2,74	0,55	0,67	0,3	1,4	1,8	nach 9-maliger Frostwirkung Beginn geringfügig. Aufspalt.
				Einsender: *Gebr. Pinösch, Vulpera.*					
44	L 1	2,76	2,69	0,41	0,47	0,1	2,5	1,3	nach 5-maliger Frostwirkung Beginn oberflächl. Abblätter.
				Einsender: *Sammlung der Materialprüfungsanstalt Zürich.*					
45	M 1	2,77	2,75	0,55	0,58	0,0	0,7	1,6	unverändert
46	N 1	2,77	2,73	0,70	0,76	0,2	1,4	2,1	»
47	O 1	2,77	2,74	0,48	0,57	0,0	1,1	1,6	»
48	O 2	2,77	2,75	0,42	0,46	0,1	0,7	1,3	»
49	O 3	2,77	2,72	0,67	0,69	0,0	1,8	1,9	»
				Einsender: *Kantonsingenieur Gremaud, Freiburg.*					
50	P 1	2,76	2,72	—	—	0,0	1,4	—	nicht ausgeführt
51	P 2	2,81	2,79	0,22	0,28	0,0	0,7	0,8	nach 20-mal. Frostwirkung Beginn der Aufpaltung
52	P 3	2,83	2,80	0,13	0,16	0,0	1,1	0,5	nach 20-mal. Frostwirkung Beginn der Aufspaltung
53	P 4	2,75	2,70	0,81	0,88	0,0	1,8	2,4	nach 25-mal. Frostwirkung Beginn der Aufspaltung

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Spezifisch. Gewicht des Materials	Raum-Gewicht	Wasseraufnahme in Gewichtsprozenten nach 48 Stunden	Wasseraufnahme in Gewichtsprozenten nach 28 Tagen	Höhe der Befeuchtung in cm nach 24 Std.	Porosität in Raum-Prozenten absolut	Porosität in Raum-Prozenten scheinb.	Verhalten in der Frostprobe
54	P 5	2,82	2,78	0,16	0,21	0,0	1,4	0,6	unverändert
55	P 6	2,82	2,77	0,18	0,27	0,1	1,8	0,8	»
56	P 7	2,82	2,78	0,33	0,43	0,0	1,4	1,2	nach 25-mal. Frostwirkung Beginn der Aufspaltung
57	P 8	2,77	2,75	0,13	0,30	0,2	0,7	0,8	fast unverändert
58	P 9	2,83	2,80	0,93	1,05	0,0	1,1	2,9	nach 25-mal. Frostwirkung Beginn der Aufspaltung
59	P 10	2,82	2,78	0,47	0,56	0,0	1,4	1,6	unverändert
60	P 11	2,83	2,80	0,22	0,62	0,0	1,1	1,7	»
61	P 12	2,84	2,82	0,32	0,33	0,0	0,7	0,9	»
		Einsender: *Alb. Bauert, Dachdeckermeister, Zürich.*							
62	Q 1	2,76	2,73	0,48	0,49	0,0	1,1	1,3	fast unverändert

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Beschaffenheit der Probe bei deren Einlieferung	Alter in Jahren des Materials	Bisherige Bewährung	Verhalten in der Fresenius'schen Wetterbeständigkeitsprobe (Schweflige Säure)
		ε. Bisheriges Verhalten der Schiefer im Freien und in der Fresenius'schen Wetterbeständigkeitsprobe.			
		Einsender: *Département des travaux publics du Canton de Valais, Sion.*			
1	B 1	Pyritschüssig, vollkommen intakt, heller Klang	9	gut	nach 6 Wochen unverändert
2	B 2	Vollk. intakt, heller Klang	9	»	» » » »
3	B 3	» » » »	17	»	» » » »
4	B 4	» » » »	17	»	» » » »
5	B 5	» » » »	56	»	» » » »
6	B 6	» » » »	56	»	» » » »
7	B 7	» » » »	8	»	nach 6 Tagen Beginn oberfl. Aufblähung. nach 21 Tagen Beginn der Aufspaltung.
8	B 8	» » » »	29	»	nach 22 Tagen Beginn der Aufspalt.
9	B 9	» » » »	29	»	nach 5 Tagen Beginn oberfl. Aufblähung. nach 11 Tagen Beginn der Aufspaltung.
10	B 10	» » » »	4	»	nach 15 Tagen Beginn der Aufspaltung
11	B 11	» » » »	4	»	nach 5 Tagen Beginn der Aufspaltung
12	B 12	Schw. pyritschüssig, vollkommen intakt, heller Klang	10	»	nach 6 Wochen fast unverändert, am Rande schwach mürbe
13	B 13	Längs der Traufkante 1 Kalkspatader aufgespalten, stellenweise dumpfer Klang	15	»	nach 12 Tagen Beginn der Aufspalt.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Beschaffenheit der Probe bei deren Einlieferung	Alter in Jahren des Materials	Bisherige Bewährung	Verhalten in der Fresenius'schen Wetterbeständigkeitsprobe (Schweflige Säure)
		Einsender: *Direktion der öffentlichen Arbeiten des Kantons Bern, Bern.*			
14	E 1	Stark verwittert, mürbe, abgeblättert	65	schlecht	nach 5 Tagen Beginn der Aufspaltung
15	E 2	Teilweise verwittert, mürbe, abgeblättert	65	»	nach 3 Tagen Beginn d. Abblätter. nach 9 Tagen Aufspaltung
		Einsender: *Département de l'Agriculture et du Commerce du Canton de Vaud, Lausanne.*			
16	F 1	Vollk. intakt, heller Klang	1	gut	nach 6 Wochen unverändert
17	F 2	» » » »	5	»	» » » »
18	F 3	» » » »	19	»	» » » »
19	F 4	» » » »	3	»	» » » »
20	F 5	» » » »	14	»	» » » »
21	F 6	» » » »	14	»	» » » »
22	F 7	» » » »	18	»	» » » »
		Einsender: *Architekt Kirchen, schweiz. Nordostbahn, Zürich.*			
23	G 1	Oberfläche mürbe, verwittert ohne Abblätterung, mässig dumpfer Klang	16	zweifelhaft	nach 15 Tagen Beginn der Aufspaltung
24	G 2	Oberfläche schwach verwittert; nicht mürbe, heller Klang	16	befriedigend	nach 6 Wochen unverändert
25	H 1	Vollk. intakt, heller Klang	ca. 20	schlecht	nach 3 Tagen Beginn der Aufspaltung
		Einsender: *Alb. Bauert, Dachdeckermeister, Zürich.*			
26	I 1	Vollk. intakt, heller Klang	0	—	nach 6 Wochen fast unverändert, etwas mürbe
27	I 2	» » » »	0	—	nach 6 Wochen unverändert
28	I 3	» » » »	0	—	» » » »
29	I 4	» » » »	0	—	» » » »
30	I 5	Vollk. intakt, heller Klang, einzelne Platten stark pyritschüssig	0	—	nach 6 Wochen ziemlich mürbe, sonst intakt
31	I 6	Fast intakt, mässig hellklingend	15	?	nach 6 Tagen Beginn der Aufblähung und Aufspaltung
32	I 7	» » » » »	5	?	nach 6 Tagen Beginn der Aufspaltung und Abblätterung
		Einsender: *A. Tobler, Sekt.-Ing., schweiz. Nordostbahn, Zürich.*			
33	K 1	Teilweise aufgespalten, in Abblätterung begriffen	17	schlecht	nach 2 Tagen Beginn der Aufblätterung
34	K 2	Ziemlich gut erhalten, Beginn der Aufspaltung, mit dumpfem Klang	17	zweifelhaft	» 2 » » » » / » 4 » » » Aufspaltung
35	K 3	Aufgespalten, an den Rändern stellenweise mürbe	17	schlecht	» 3 » » » »
36	K 4	Vollk. intakt, heller Klang	1	—	» 2 » » » »
37	K 5	Stark aufgespalten, in Abblätterung begriffen	17	schlecht	» 2 » » » »

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Beschaffenheit der Probe bei deren Einlieferung	Alter in Jahren des Materials	Bisherige Bewährung	Verhalten in der Fresenius'schen Wetterbeständigkeitsprobe (Schweflige Säure)
38	K 6	Aufgespalten, in Abblätterung begriffen	17	schlecht	nach 6 Tagen Beginn der Aufblätterung. » 4 » » » Aufspaltung
39	K 7	Aufgespalten und oberflächlich teilweise abgeblättert	9	»	» 2 » » » Abblätterung
40	K 8	In Abblätterung begriffen	17	»	» 4 » » » Aufspaltung
		Einsender: *Gebr. Pinösch, Vulpera.*			
41	L 1	Vollkommen intakt, heller Klang zur Abblätterung geneigt	0	unbekannt	nach 4 Tagen Beginn oberflächl. Ablösungen, nach 4 Wochen Beginn der Abblätterung, Material oberflächl. mürbe
		Einsender: *Sammlung der Materiatprüfungsanstalt Zürich.*			
42	M 1	Vollk. intakt, heller Klang	0	schlecht	nach 4 Tagen Beginn der Aufspaltung
43	N 1	Teilweise gespalten und abgeblättert, teilweise in Abblätterung begriffen	c. 20	»	» 3 » » » »
44	O 1	Vollk. intakt, heller Klang	0	» *)	» 4 » » » »
45	O 2	» » » »	0	» *)	» 4 » » » »
46	O 3	» » » »	0	» *)	» 3 » » » »
		Einsender: *Kantonsingenieur Gremaud, Freiburg.*			
47	P 1	Örtlich aufgespalten, dumpf. Klang	100	anfängl. gut	nach 10 Tagen Beginn der Aufspaltung
48	P 2	Vollk. intakt, heller Klang	20	gut	nach 6 Wochen unverändert
49	P 3	» » » »	15	»	» » » »
50	P 4	In Abblätterung begriffen, Kanten örtlich mürbe, Klang wechselt	19	zweifelhaft	nach 7 Tagen Beginn der Aufspaltung
51	P 5	Vollk. intakt, heller Klang	18	gut	nach 6 Wochen unverändert
52	P 6	» » » »	15	»	» » » »
53	P 7	» » » »	?	»	» » » »
54	P 8	» » » »	37	»	nach 6 Tagen Beginn der Abblätterung. » 8 » » » »
55	P 9	» » » »	37	»	nach 6 Wochen unverändert
56	P 10	» » » »	41	»	» » » »
57	P 11	» » » »	37	»	» » » »
58	P 12	» » » »	37	»	» » » »
		Einsender: *Alb. Bauert, Dachdeckermeister, Zürich.*			
59	Q 1	Vollk. intakt, heller Klang	0	unbekannt	nach 2 Tagen Beginn der Aufspaltung

*) Nach dem Urteile Sachverständiger ist das Material minderwertig.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Beschaffenheit der Probe bei deren Einlieferung	Alter in Jahren des Materials	Bisherige Bewährung des Materials	Gew.-Verlust %	Verhalten in der kombinierten Wetterbeständigkeitsprobe
ζ. Bisheriges Verhalten der Schiefer im Freien und in der kombinierten Wetterbeständigkeitsprobe.						
Einsender: *Département des travaux publics du Canton de Valais, Sion.*						
1	B 1	Pyritschüssig, vollkommen intakt, heller Klang	9	gut	—	unverändert
2	B 2	Vollk. intakt, heller Klang	9	»	—	»
3	B 3	» » » »	17	»	—	»
4	B 4	» » » »	17	»	—	»
5	B 5	» » » »	56	»	—	»
6	B 6	» » » »	56	»	—	»
7	B 7	» » » »	8	»	10	nach 8-mal. Frostwirkung Beginn der Spaltungen; nach 25-mal. Frostwirk. Material noch ziemlich hart
8	B 8	» » » »	29	»	18	nach 20-mal. Frostwirk. Beginn des Mürbwerdens; nach 25-mal. Frostwirk. Beginn der Aufspaltung
9	B 9	» » » »	29	»	25	nach 14-mal. Frostwirk. Beginn des Sprödwerdens, Klang matt; nach 20-mal. Frostwirk. Material total mürbe, zerfällt.
10	B 10	» » » »	4	»	45	nach 12-mal. Frostwirk. Beginn der Abschieferung; nach 20-mal. Frostw. Oberfläche abschleimend, mürbe werdend.
11	B 11	» » » »	4	»	—	nach 12-mal. Frostwirk. Beginn der Abschieferung, Material wird mürbe; nach 17-mal. Frostwirk. Material in Platten zerfallen.
12	B 12	Schwach pyritschüssig, vollkommen intakt, heller Klang	10	»	—	nach 25-mal. Frostwirk. Material unverändert.
13	B 13	Längs der Tranfkante 1 Kalkspatader aufgespalten, stellenw. dumpfer Klang	15	»	—	nach 12-mal. Frostwirk. Beginn der Aufspalt.; nach 17-mal. Frostwirkung Material ganz durchmürbt, zerspalten, biegsam, plastisch
Einsender: *Direktion der öffentlichen Arbeiten des Kantons Bern, Bern.*						
14	E 1	Stark verwitt., mürbe, abgeblätt.	65	schlecht	—	brauchbare Probe fehlt
15	E 2	Teilw. » » »	65	»	—	nach 1-mal. Frostwirkung Beginn der Aufspaltung u. Aufblätterung; n 2-mal. Frostwirkung totales Aufblättern
Einsender: *Département de l'Agriculture et du Commerce du Canton de Vaud, Lausanne.*						
16	F 1	Vollk. intakt, heller Klang	1	gut	—	unverändert
17	F 2	» » » »	5	»	—	»
18	F 3	» » » »	19	»	—	»
19	F 4	» » » »	3	»	—	»
20	F 5	» » » »	14	»	—	»
21	F 6	» » » »	14	»	—	»
22	F 7	» » » »	18	»	—	»

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Beschaffenheit der Probe bei deren Einlieferung	Alter in Jahren des Materials	Bisherige Bewährung	Gew.-Verlust %	Verhalten in der kombinierten Wetterbeständigkeitsprobe
		Einsender: *Architekt Kirchen, schweiz. Nordostbahn, Zürich.*				
23	G 1	Oberfläche mürbe, verwittert, ohne Abblätterung, mässig dumpfer Klang	16	zweifelhaft	—	nach 18-mal. Frostwirk. an den Kanten mürbe werd., Klang noch hell, Material fest
24	G 2	Oberfläche schwach verwittert, nicht mürbe, heller Klang	16	befriedigend	2	nach 13-mal. Frostwirk. an den Kanten mürbe werdend, sonst intakt; nach 18-mal. Frostwirk. Klang matt Beg. d. Aufspalt.
25	H 1	Vollk. intakt, heller Klang	ca. 20	schlecht	—	nach 5-malig. Frostwirk. Beginn der Abblätterung; nach 10-mal. Frostwirk. in Platten zerfallen, Material brüchig.
		Einsender: *Alb. Bauert, Dachdeckermeister, Zürich.*				
26	I 1	Vollk. intakt, heller Klang	0	—	—	nach 25-maliger Frostwirkung Material unverändert
27	I 2	» » » »	0	—	—	nach 25-mal. Frostwirk. Material unverändert (zeigt an der Oberfläche blos einige Risschen)
28	I 3	» » » »	0	—	—	nach 25-maliger Frostwirkung Material unverändert
29	I 4	» » » »	0	—	—	nach 25-mal. Frostwirk. Material unverändert (Klang etwas matt werdend)
30	I 5	» » » » einzelne Platten stark pyritschüssig	0	—	—	nach 17-mal. Frostwirk. Bildung von Spalten, Material wird mürbe, Klang matt
31	I 6	Fast intakt, mässig hellklingend	15	?	—	nach 2-mal. Frostwirk. einseitige Abblätterung; nach 5-mal. Frostwirkung Material auf einer Seite mürbe
32	I 7	» » » » »	5	?	—	nach 5-malig. Frostwirk. Oberfläche mürbe; nach 20-mal. Frostwirk. Mat. mürbe, fortschreitende Verwitterung an der Oberfläche; nach 25-mal. Frostwirk. Material mürbe, lamellar abschieferend
		Einsender: *A. Tobler, Sekt.-Ing., schweiz. Nordostbahn, Zürich.*				
33	K 1	Teilweise aufgespalten, in Abblätterung begriffen	17	schlecht	45	nach 7-mal. Frostwirk. Beginn der Aufblätterung; nach 17-mal. Frostwirk. Zerfall in Platten, Mat. mürbe werdend
34	K 2	Ziemlich gut erhalten, Beginn der Aufspaltungen m. dumpfem Klang	17	zweifelhaft	—	nach 7-mal. Frostwirk. Warzenbild. an der Oberfläche, Beginn der Aufspalt., Oberfl. mürbe; nach 10-mal. Frostwirk. starke Abschieferung, Material spaltet auseinander; nach 18-mal. Frostwirk. totaler Zerfall.
35	K 3	Aufgespalten an den Rändern, stellenweise mürbe	17	schlecht	—	genau dasselbe wie bei Probe K 2.
36	K 4	Vollk. intakt, heller Klang	1	»	15	nach 7-mal. Frostwirk. Beginn der Aufspalt., Klang matt; nach 10-mal. Frostwirk. Material mürbe werdend; nach 18-mal. Frostwirk. in Platten zerfallen.
37	K 5	Stark aufgespalten, in Abblätterung begriffen	17	»	—	nach 7-mal. Frostwirk. Warzenbild. Oberfl. Spaltung; nach 10-mal. Frostwirk. Abspalten ganzer Platten, Mat. ziemlich hart, Klang hell; nach 25-mal. Frostwirk. vollkommen gespalten, noch hart.
38	K 6	Aufgespalten, in Abblätterung begriffen	17	»	—	nach 7-mal. Frostwirk. oberflächliche Abblätterung; nach 10-mal. Frostwirk. Zerfall in Platten; nach 25-mal. Frostwirk. vollk. zerfallen, brüchig.
39	K 7	Aufgespalten und Oberfläche teilweise abgeblättert	9	»	—	nach 7-mal. Frostwirkung Abspalten grosser Lamellen, Klang matt; nach 25-mal. Frostwirkung vollk. zerspalten.
40	K 8	In Abblätterung begriffen	17	»	—	nach 7-mal. Frostwirkung Beginn der Spaltenbild., Material wird mürbe, Klang matt; nach 10-mal. Frostwirk. Zerfall in Platten; nach 25-mal. Frostwirk. durch und durch brüchig, mürbe.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Beschaffenheit der Probe bei deren Einlieferung	Alter in Jahren des Materials	Bisherige Bewährung des Materials	Gew.-Verlust %	Verhalten in der kombinierten Wetterbeständigkeitsprobe
		Einsender: *Gebr. Pinösch, Vulpera.*				
41	L 1	Vollkommen intakt, heller Klang, zur Abblätterung geneigt	0	unbekannt	—	nach 7-mal. Frostwirk. Oberfläche mürbe; nach 8-mal. Frostwirk. Beginn der Abblätterung, Klang matt; nach 20-mal. Frostwirk. Mat. immer mürber werdend.
		Einsender: *Sammlung der Materialprüfungs-Anstalt Zürich.*				
42	M 1	Vollk. intakt, heller Klang	0	schlecht	—	nach 5-mal. Frostwirkung Oberfläche mürbe; nach 8-mal. Frostwirkung beginnende Abblätterng.
43	N 1	Teilweise gespalten und abgeblättert	ca. 20	»	—	nach 5-maliger Frostwirkung Oberfläche mürbe.
44	O 1	Vollk. intakt, heller Klang	0	» *)	—	nach 5-maliger Frostwirkung Oberfläche mürbe.
45	O 2	» » » »	0	» *)	—	nach 5-maliger Frostwirkung Oberfläche mürbe.
46	O 3	» » » »	0	» *)	—	nach 5-mal. Frostwirkung Oberfläche mürbe; nach 6-mal. Frostwirkung ganz mürbe.
		Einsender: *Kantonsingenieur Gremaud, Freiburg.*				
47	P 1	Örtlich aufgespalten, dumpfer Klang	100	anfängl. gut	25	nach 4-mal. Frostwirk. pyramidale Erhebung.; nach 7-mal. Frostwirk. Beginn der Aufspaltung; nach 11-mal. Frostwirk. Mat. mürbe werdend; nach 14-mal. Frostwirk. Mat. mürbe, schiefert ab, zerspalten.
48	P 2	Vollk. intakt, heller Klang	20	gut	—	nach 25-maliger Frostwirkung unverändert.
49	P 3	» » » »	15	»	—	nach 25-maliger Frostwirkung unverändert.
50	P 4	In Abblätterung begriffen, Kanten örtlich mürbe, Klang wechselt	19	zweifelhaft	59	nach 1-mal. Frostwirk. Beginn der Aufspaltung; nach 2-mal. Frostwirk. totale Aufspaltung; nach 14-mal. Frostwirk. starke Abschieferng., Mat. mürbe u. weich.
51	P 5	Vollk. intakt, heller Klang	18	gut	—	nach 25-maliger Frostwirkung unverändert.
52	P 6	» » » »	15	»	—	nach 25-maliger Frostwirkung unverändert.
53	P 7	» » » »	?	»	—	nach 25-maliger Frostwirkung unverändert.

*) Nach den Urteilen Sachverständiger ist das Material minderwertig.

Lauf. No.	Bezeichnung der Probe	Beschaffenheit der Probe bei deren Einlieferung	Alter in Jahren des Materials	Bisherige Bewährung	Gew.-Verlust %	Verhalten in der kombinierten Wetterbeständigkeitsprobe
54	P 8	Vollk. intakt, heller Klang	37	gut	9	nach 6-mal. Frostwirk. pyramidale Erhebungen; nach 7-mal. Frostwirk. beginnende Aufspaltung; nach 25-mal. Frostwirk. Spalten, Mat. mürbe.
55	P 9	» » » »	37	»	—	nach 25-maliger Frostwirkung unverändert.
56	P 10	» » » »	41	»	—	nach 25-maliger Frostwirkung unverändert.
57	P 11	» » » »	37	»	—	nach 25-maliger Frostwirkung unverändert.
58	P 12	» » » »	37	»	—	nach 25-maliger Frostwirkung unverändert.
		Einsender: *Alb. Bauert, Dachdeckermeister, Zürich.*				
59	Q 1	Vollk. intakt, heller Klang	0	unbekannt	—	nach 5-maliger Frostwirkung Oberfläche stark mürbe.

IX. Über einige verwitternde Kalksteinsorten vom obern Nildelta.

Verwitterungs-Erscheinungen, wie wir solche als Folgewirkung der Wassersaugkraft, der Entwicklungsfähigkeit und des Frostes an einheimischen Kalk- und Sandsteinsorten kennen, fanden wir auch unter klimatischen Verhältnissen, die jeden Frost ausschliessen. Verschiedene Profan- und Monumentalbauten aus der Blütezeit des arabischen Baustils in Ägypten verfallen durch Verwitterung der verwendeten Steine. Diese Verwitterungserscheinungen beschränken sich nicht etwa auf Bauwerke der Kalifen- und Mamelukenzeit, sie kommen vielmehr auch an Ausführungen der jüngsten Zeit, so namentlich auch an Rekonstruktionen älterer Objekte durch Meister *Franz-Pascha* und dessen Nachfolger im Amte, *Herz-Bey*. Die Herkunft der bei fraglichen Rekonstruktionen verwendeten, örtlich bereits unverkennbare Spuren der Verwitterung zeigenden Steine, konnte nicht festgestellt werden. Diese Steine scheinen aus verschiedenen Brüchen bezogen zu sein, welche in der Nähe der Stadt Kairo am Fusse des Mokattam-Gebirges durch den Staat bezw. durch Private betrieben werden. Am Fusse des Mokattam-Gebirges, in nächster Nähe der Stadt liegen zahlreiche Steinbrüche, die Steine wechselnder Beschaffenheit liefern. Gewaltige Steinmassen liefern die staatlichen Brüche bei Turrah; die besseren Sorten werden als Bausteine verkauft, die minderwertigen an Kalkbrennereien abgegeben. In den zahlreichen, neueren und älteren, zum Teil aufgelassenen Steinbrüchen von Turrah liegen den Materialien der Steinbrüche um Kairo völlig ähnliche, in ihrer physikalisch-chemischen Beschaffenheit ausserordentlich wechselnde Kalksteinsorten. Es finden sich hier Kalksteine und Kieselkalke von solcher Härte und Festigkeit vor, dass deren Bearbeitung die grössten Schwierigkeiten schafft. In tieferen Lagen liegen Schichten-

Komplexe, deren Material an der Luft mürbe wird, oft zerfällt. In den Steinbrüchen bei Heluan wird ein kreideartiger, weisslichgelber Kalkstein gebrochen; regelmässige, durch Keilbetrieb abgelöste Blöcke werden hier von Hand in Scheiben zerlegt, welche als Kalksteinplatten von Heluan im Handel stehen. Ein an Ort und Stelle genommenes Muster zeigte folgende chemische Zusammensetzung:

Kieselsäure	SiO_2	= 8,77 %
Thonerde	Al_2O_3	= 0,80 »
Eisenoxyd	Fe_2O_3	= 0,59 »
Kalk	CaO	= 47,05 »
Magnesia	MgO	= 0,84 »
Schwefelsäure . . .	SO_3	= 0,58 »
Kohlensäure	CO_2	= 36,40 »
H_2O+Bitumen . . .	H_2O+Bit.	= 3,89 »
Alkalien als Differenz		= 1,08 »

Zwischen Wadi-Hof und dem Eingange ins Wadi-Ti, also südlich von Turrah liegen die ausgedehnten katakombenartigen Höhlungen des Gebirgszuges, aus welchem die alten Ägypter das Steinmaterial für den Pyramidenbau bezogen hatten. Während heute im offenen Tagebau das Steinmaterial gebrochen, und alles was fällt, verbraucht wird, haben die Alten ihren Steinbedarf nach bergmännischer Abbauart gewonnen; sie sind den hochwertigen, massigen Schichten unterirdisch nachgegangen und das Minderwertige in der Sohle und der Decke stehen gelassen.

Fig. 18 stellt eine Profilskizze des Mokatams bei Kairo in der Richtung: Mokatam-Signal, Judenfriedhof, Windmühlen dar. Grösste Erhebung 120 m über Nilbrücke. Der Gebirgszug liegt auf der Kreide, gehört somit der älteren *Tertiär-* oder *Eocän-*Formation an und besteht aus 2 scharf unterschiedenen Absätzen. Die untere, ältere Ablagerung, Mokattam I, wie die darüber liegende, II, zeichnen sich durch völlige Regelmässigkeit in den Schichtungsverhältnissen aus. Ihre Ausdehnung ist eine gewaltige. Wahrscheinlich zufolge Auslaugung des Sohlengesteins durch Meereswasser erfolgte ein Abriss längs dem gegenwärtigen Mokattam-Gebirge und ein Sinken des westlich von Mokattam situiert gewesenen Gebirgsstocks, wodurch dieser Teil der Ablagerungen mehrfache Verwerfung und Verschiebungen erlitt. In der Niederung zwischen Mokattam und dem Gizeh-Sakkara-Plateau, welche der Nil durchzieht, sind die Schichten des

Mokattam II zertrümmert, verwittert und fortgespült. In die liegen gebliebenen Bänke des Mokattam I hat der Nil sein Bett vertieft.

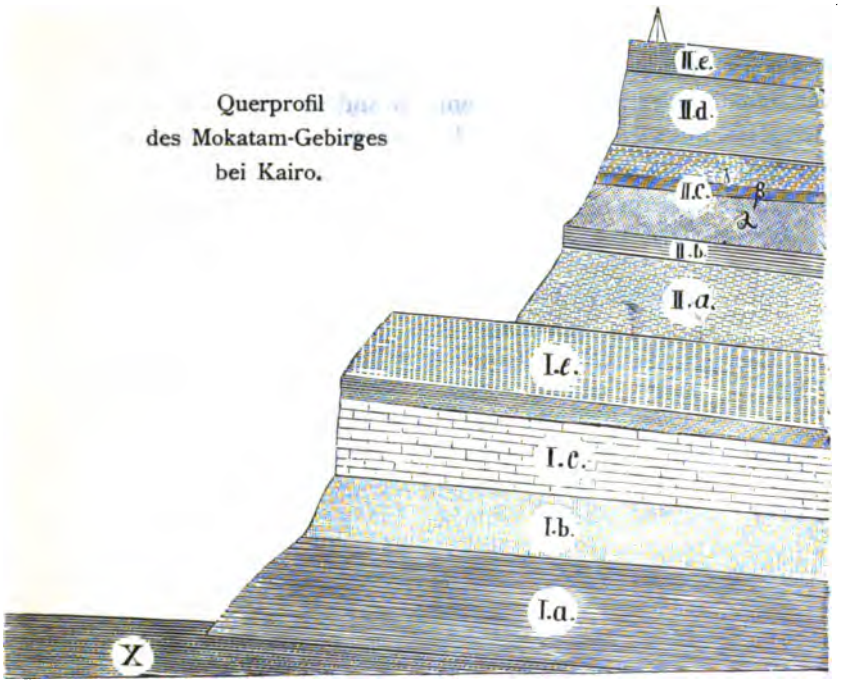


Fig. 18.

Die meisten Steinbrüche am Fusse des Mokattam liegen im stehen geblieben, diejenigen der Niederung, so jene beim alten Aquadukt, in Nähe der Windmühlen, bei Alt-Kairo u. a. O., in den obersten liegen gebliebenen Schichten der gesunkenen Partie des ursprünglichen Gebirgsstockes.

Der stratigraphische Aufbau des Mokattams wäre nach Prof. *Mayer-Eymar* kurz folgender:

Mokattam II
- *e.* Grauer Kalksandstein; oft kieselig (Mühlstein-Schicht).
- *d.* bräunlicher, poröser Turritellen-Kalk.
- *c.* gelblicher bis schwärzlicher, gypsschüssiger Mergel.
- *b.* feste petrefactenreiche, Plicatulen-Bank.
- *a.*
  - *γ.* schwärzlicher Gypsmergel.
  - *β.* kieselige Kalkbänke.
  - *α.* Taflé.

Mokattam I
- *e.* weisser, gelblicher oft rötlicher Kalk (Duvali-Schicht)
- *d)* Kieselkalk (Hauptpetrefakten-Schicht).
- *c.* gelber, gypsschüssiger Kalk (Baustein-Schicht).
- *b.* Hauptnummuliten-Schicht.
- *a.* glaukonitischer Kalk (petrefaktenreich).

Mokattam I c liefert die bereits mehrfach erwähnten Bausteine und das Rohmaterial für die Kalkbrennereien. Das Material der Schichtenkomplexe ist chemisch und physikalisch verschieden; auf gleichem geologischem Horizont scheint das Material selbst auf grössere Entfernung gleiche Zusammensetzung zu besitzen. Folgende Zusammenstellungen enthalten die Resultate einiger, in der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt ausgeführten Analysen:

Alter Baustein-Bruch No. I im Turrah-Gebiet
(nordöstlich vom Fort Turrah).

Geologisches Alter: Eocän, Mokattam I C (untere Schichten).

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	CO_2	H_2O+Bit.
			Schicht No. 5 (Decke).				
1,82 %	0,54 %	0,36 %	52,05 %	2,19 %	0,39 %	41,20 %	1,63 %
			Schicht No. 4.				
2,05 %	0,37 %	0,21 %	53,70 %	1,17 %	0,26 %	42,24 %	Spur
			Schicht No. 3.				
2,88 %	0,45 %	0,40 %	52,88 %	1,29 %	0,77 %	41,18 %	Spur
			Schicht No. 2 *).				
15,79 %	3,82 %	2,95 %	40,37 %	1,90 %	1,32 %	30,62 %	2,58 %
			Schicht No. 1 (Sohlenschicht im Bruch).				
0,63 %	0,66 %	0,60 %	55,90 %	Spur	0,69 %	42,22 %	Spur

Alter Steinbruch No. III im Turrah-Gebiet
(östlich vom Fort Turrah, Richtung nach dem Wadi Ti).

Geologisches Alter: Eocän, Mokattam I C (obere Schichten).

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	CO_2	H_2O+Bit.
			Schicht No. 4.				
11,50 %	2,06 %	1,44 %	45,80 %	2,48 %	0,47 %	33,60 %	3,43 %
			Schicht No. 3 **).				
13,69 %	5,78 %	0,72 %	42,55 %	2,76 %	0,44 %	33,30 %	2,08 %
			Schicht No. 2.				
6,90 %	3,54 %	0,36 %	48,70 %	1,98 %	0,21 %	38,50 %	1,22 %
			Schicht No. 1 †).				
5,80 %	0,58 %	0,72 %	49,15 %	2,06 %	1,24 %	40,00 %	0,86 %

*) 2 ist eine merglige, thonige Einlagerung von 15—20 cm Stärke.
**) Merglige Bank. †) Findling aus dem benachbarten Schutt genommen, in Verwitterung begriffen.

In Nähe des verlassenen Schienenweges, hart am Fusse des Fort Turrah
(nördlich vom Fort).

Geologisches Alter: Eocän; Höhenlage: oberer Mokattam I C.

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	CO_2	H_2O+Blt.
Bläulichgrauer Mergel.							
11,16 %	2,86 %	1,74 %	43,78 %	2,28 %	1,91 %	34,05 %	3,04 %
Bläulichgrauer Mergel, verwittert, aus dem Schutt.							
9,00 %	1,72 %	1,19 %	46,38 %	2,48 %	1,37 %	36,85 %	1,80 %
8,54 »	1,89 »	1,83 »	46,91 »	2,23 »	0,42 »	37,45 »	0,84 »
Gelblichgrauer Mergel.							
20,27 %	3,11 %	2,02 %	36,84 %	4,26 %	0,56 %	31,20 %	2,13 %
Mergelbank, hart unter dem Fort, Nordseite.							
17,26 %	2,63 %	1,46 %	36,57 %	5,86 %	1,13 %	32,65 %	2,19 %

Materialien von verschiedenen Fundorten.

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	CO_2	H_2O+Blt.
Verlassener Steinbruch beim Bahnhof Turrah (Araber-Grab).							
6,49 %	3,53 %	0,72 %	48,00 %	2,01 %	0,65 %	38,10 %	1,10 %
Thon-Mergel aus dem Wadi el Hai.							
20,29 %	10,03 %	3,92 %	31,40 %	1,87 %	0,66 %	23,70 %	8,54 %
Gelber Thon vom Gebel Achmar.							
52,57 %	23,77 %	6,48 %	1,00 %	3,15 %	0,20 %	0,30 %	11,07 %
49,73 »	23,48 »	6,97 »	1,24 »	2,05 »	0,52 »	0,11 »	12,33 »
Rötlicher Thon von Gebel Achmar.							
46,30 %	19,82 %	8,98 %	3,00 %	3,54 %	0,17 %	0,60 %	16,76 %

Vorstehend angeführte Thone scheinen alte Nilschlammablagerungen zu sein; sie sind der chemischen Zusammensetzung nach den jüngsten Schlammablagerungen des Nilstroms im Delta verwandt. So fanden wir den

Nilschlamm von Turrah

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	CO_2	H_2O+Blt.
60,27 %	15,02 %	8,99 %	5,52 %	2,47 %	0,45 %	1,14 %	3,74 %

Die Resultate der chemischen Analysen der Schichtenkomplexe im Mokattam I C bei Turrah bestätigen in soferne den petrographischen Befund, als schon durch diese die Verschiedenheit und Verschiedenartigkeit des Materials nachgewiesen wurde. Die Kalksteine des alten Steinbruches I bei Turrah sind durchwegs dolomitisch und schwach thonschüssig. Als Bausteine für unverputztes, der Wirkung der Atmosphärilien ausgesetztes

Mauerwerk sind dieselben hochwertiger als diejenigen des alten Steinbruchs III, welche in die Kategorie der Kalkmergel eingereiht werden müssen. Überraschend wirkt die Thatsache, dass selbst so thonarme Kalkmergel wie No. 1†), (Findling aus dem benachbarten Steinbruch-Schutt genommen) verwittern. Im schweiz. Jura wie in den Alpen liegen massenhaft Kalksteine mit gleichem Thongehalt, welche einen Kohäsionsverlust durch Verwitterungsvorgänge nicht zeigen. Das schlechte Verhalten dieser thonarmen Mokattam-Kalke muss somit in Gefügeverhältnissen liegen, die nicht näher studiert sind.

Steinmaterialien im Freien sind am oberen Nildelta folgenden Agentien ausgesetzt:

a. Durchfeuchtung durch Thauwirkung und Regenschauer;
b. Oberflächlich rasche Trocknung durch die Trockenwirkung der Atmosphäre;
c. Oberflächliche Ausdehnung zufolge Einwirkung der Sonnenstrahlen; endlich der
d. Einwirkung der Kohlensäure, doch nur in untergeordnetem Masse.

Durchfeuchtung und der darauffolgende Trockenprozess erzeugen ein Spiel von Quellung und Raumverminderung, welches von Spannungszuständen begleitet sein muss, wenn dieses Spiel auf die Steinoberfläche beschränkt bleibt. Erwärmung durch Sonnenstrahlen-Wirkung hat eine Raumvergrösserung zu Folge. Bei einseitiger Belichtung werden gleichfalls Spannungszustände erzeugt, die zu Spaltbildungen, Zerklüften, schalenförmigen Ablösung, ja zum Bersten grösserer Blöcke führen (vergl. in dieser Hinsicht die »Denudation in der Wüste« von Prof. *J. Walter,* Jena). Vorgänge, wie sie in der Natur im Grossen beobachtet sind bestehen auch im Kleinen und diesen fällt das Material zum Opfer, so oft dessen organischer Bau, seine Gefügebeschaffenheit den erforderlichen Widerstand entgegenzusetzen ausser Stande ist. Leider existieren gegenwärtig keine ausreichenden Grundlagen, um die Gefügebeschaffenheit von Sedimentgesteinen auch nur mit einiger Sicherheit beurteilen zu können.

Im Nachstehenden teilen wir unsere Anschauungen und Beobachtungen mit, ohne auf Vollständigkeit Anspruch zu machen oder ein Hülfsmittel zur Beurteilung der fraglichen Verhältnisse bieten zu können.

Der Mokattam-Kalkstein ist der Hauptsache nach zoogenen Ursprungs. Die Trümmer von Schalen und anderen Produkten der Lebensthätigheit niedriger Organismen sanken zu Boden und sind hier unter Druck teils durch den gleichzeitig erfolgten Niederschlag von Thonsubstanz, teils durch Metamorphen-Kalk zusammengekittet worden. In den meisten Fällen dürften auch die Thonpartikelchen durch nachträglich gefällten Kalk gekittet worden sein, denn in der Zeit nach der Ablagerung der Schalen und Trümmer anderer Produkte der Lebensthätigkeit fraglicher Organismen war diese Ablagerung mit organischen Stoffen reichlich durchsetzt, deren Fäulnisprozess zur Quelle einer reichlichen Kohlensäurebildung wurde. Ein Teil des zoogenen Calcium-Karbonats konnte in Berührung mit dem kohlensäurehaltigen Wasser in die lösliche Modifikation übergehen, aus welcher durch chemische Fällung der metamorphe Kalk entstanden ist und verkittend wirkte.

Kalksteinbänke, welche durchsetzt sind mit grösseren Mengen Thon und geringen Mengen gefälltem Kalk, werden ein, den mit thoniger Kittsubstanz behafteten Sandsteinsorten ähnliches Verhalten zeigen; sie werden sich diesen desto mehr nähern, je grösser der Thongehalt des Kalksteins ist. Thonarme Kalksteine, die bedingt durch äussere Umstände auch geringe Mengen Fällungskalk enthalten, werden porös, wassersaugend und von wechselnder, vorwiegend geringer Festigkeit (kreideartig) sein. Ihr Gefüge wird wechseln, im allgemeinen einen brecciosen oder oolithischen Charakter tragen. Das Gefüge wird in dem Maasse kompakter, dichter, verwachsener (verfilzter) erscheinen müssen, je reichlicher der Fällungskalk vorhanden ist. Die Beurteilung der Menge an Fällungskalk ist schwierig, weil bei ausreichender Vergrösserung auch dieser in ein Haufwerk kleinerer, transparenter Körnerchen zerfällt.

Einen Einblick in die Gefügeverhältnisse der zu Bauzwecken dienenden Kalksteinsorten von Turrah zu gewinnen, haben wir aus Handstücken der analisierten Bänke des alten Steinbruches No. I Dünnschliffe anfertigen lassen und diese mikroskopiert. In Fig. 19—22 geben wir eine Reproduktion der mikrophotographischen Aufnahmen dieser Präparate, an welchen wir bei angenähert gleicher Vergrösserung (200- bis 260-fach) folgende typischen Gefügeverhältnisse fanden:

Fig. 19.
200-fache Vergrösserung.

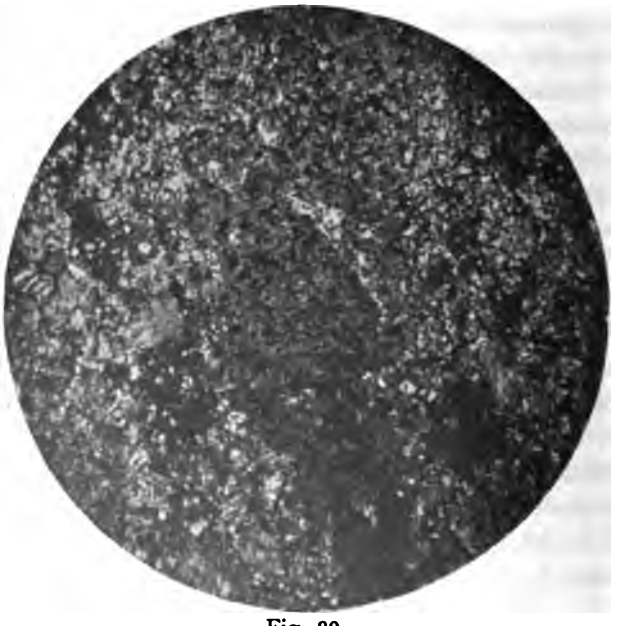


Fig. 20.
260-fache Vergrösserung.

Fig. 21.
200-fache Vergrösserung.

Fig. 22.
260-fache Vergrösserung.

1. Ein *brecciös-körniges Gefüge,* Fig. 23; es erscheinen bald kleinere bald grössere Kalksteinpartikelchen breccienartig agglomeriert.

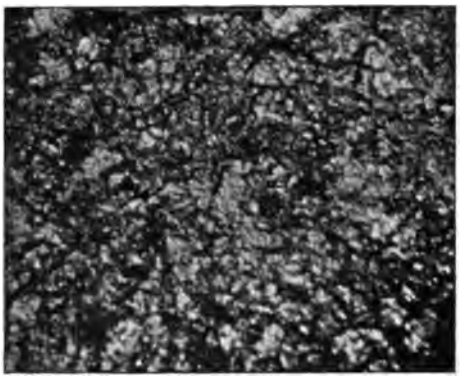


Fig. 23.
Detail aus Fig. 20; 400-fache Vergrösserung.

2. Ein *nieriges Gefüge;* die Masse zeigt eine nierenartig. der Karrenbildung ähnliche Gestaltung; benachbarte Teilchen erscheinen durch gewundene, unregelmässig verlaufene Vertiefungen, Risse und Spaltenbildungen durchfurcht (Fig. 24).

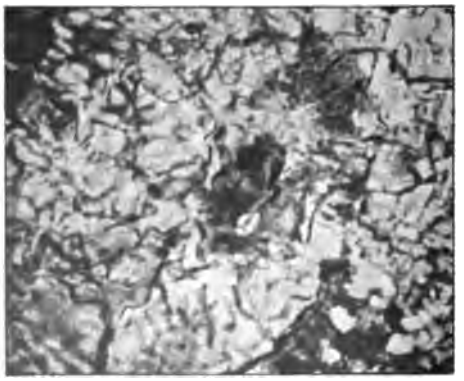


Fig. 24.
Detail aus Fig 20; 400-fache Vergrösserung.

3. Ein *faseriges Gefüge;* die Masse ist scheinbar aus einem Haufwerk stalagtitartiger Stängelchen zusammengesetzt. Be

grösserer Vergrösserung zerfallen diese in körnige Fragmente ohne ausgesprochenen Charakter (eine Art körnige Struktur; die Kittung erfolgte wahrscheinlich durch reichliche chemische Fällung).

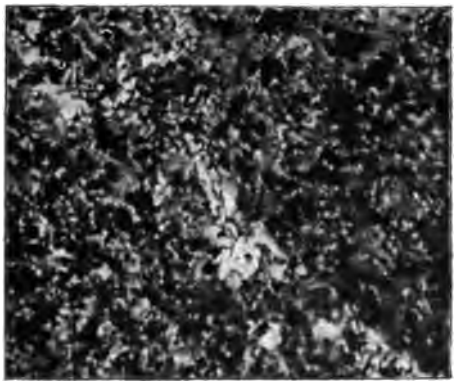


Fig. 25.
Detail aus Fig. 20; 520-fache Vergrösserung.

4. Ein *tufföses Gefüge;* die Masse erscheint netzartig, mit Poren durchsetzt. Scharfe, unregelmässige Ränder grenzen muldenförmige Vertiefungen ein (vergl. in Fig. 25 die mittlere Partie); möglicherweise Reste der Auslaugung aragonitischer, durch chemische Fällung gekitteter Kalksteinpartikelchen.

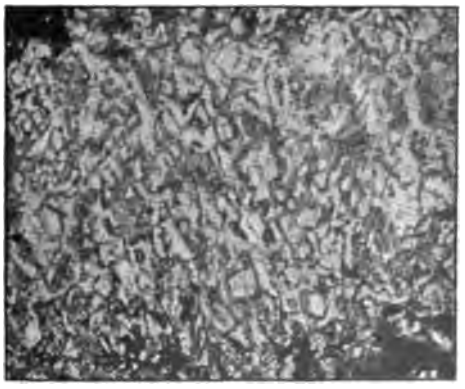


Fig. 26.
Detail aus Fig. 22; 520-fache Vergrösserung.

5. Ein *maserartiges Gefüge;* unregelmässig gewundenes, örtlich fast vollkommen verwachsenes dichtes, förmlich verfilztes Gefüge mit mondkartenähnlicher Zeichnung (vergl. in Fig. 26 die mittlere Partie; wahrscheinlich das Gefüge eines Kalksteines, dessen Masse vorwiegend aus Fällungskalk besteht).

In Ermangelung eines zahlenmässigen Ausweises der physikalischen Eigenschaften der beobachteten Gesteinsarten bleibt ein Schluss auf die Bedeutung der Struktur-Verhältnisse hinsichtlich der Wetterbeständigkeit dieser Materialien weiterer Untersuchungen vorbehalten.

X. Zur Frage der Konservierung natürlicher Bausteine.

Dass ein an sich frost- und wetterunbeständiges Steinmaterial auf künstlichem Wege nicht bleibend widerstandsfähig gegen die Einwirkungen der Atmosphärilien gemacht werden kann, liegt auf der Hand. In der Natur giebt es keine absolute Beständigkeit und selbst die beständigsten Gesteinsarten unterliegen schliesslich dem »nagenden Zahne der Zeit«. Von diesem Standpunkte aus ist auch die Frage der Konservierung der natürlichen Bausteine unter Anwendung geeigneter Konservierungsmittel zu beurteilen. Sie können lediglich nur den Zweck haben, die Lebensdauer eines an sich wertvollen Steinmaterials zu erhöhen und haben daher sowohl für das Baugewerbe als auch für die Industrie natürlicher Bausteine eine nicht zu unterschätzende Bedeutung.

Für unser Land hat die Frage der Konservierung der natürlichen Bausteine besonderes Interesse. Verschiedene öffentliche Bauwerke, Kunstdenkmäler und Profanbauten tragen bedenkliche Spuren des fortschreitenden Verwitterungsprozesses. Sie eilen einem vorzeitigen Verderben entgegen, wenn nicht geeignete Massregeln ergriffen werden, um die Widerstandsfähigkeit des Materials, aus welchem sie hergestellt sind, bei zeiten zu erhöhen. Ohne Zweifel steht der von verschiedenen Seiten beklagte Rückgang der schweiz. Steinindustrie, der Verlust geschätzter Absatzgebiete im Zusammenhange mit den schlechten Erfahrungen, die an einigen Bausteinsorten gemacht wurde, welche durch Gleichmässigkeit der Farbe, des Korns, durch ihre leichte Bearbeitungsfähigkeit berufen schienen sich zu einer beachtenswerten Landesindustrie zu entwickeln.

Die Frage der Prüfung der Hülfsmittel zur Konservierung der Bausteine reicht im schweiz. Materialprüfungs-Institute in

das Jahr 1884 zurück, in welchem Jahre die ersten Versuche an oolithischen, kreideartigen Kalksteinen und einigen Sandsteinsorten ausgeführt wurden. Auf Veranlassung des ehemaligen Kantonsbaumeisters, des Herrn Reg.-Rates *Reese* in Basel und des Herrn Architekten *Jenzer,* Direktor der Ostermundinger Steinbruch-Aktiengesellschaft in Ostermundingen, wurden unsere Versuche 1886 wieder aufgenommnn und soweit gefördert, dass eine erste Veröffentlichung der Resultate, im IX. Band der Schweizerischen Bauzeitung, Ste. 91, erfolgen konnte. Seither wurde der Gegenstand weiter verfolgt und sollen in nachstehenden Darlegungen die Resultate derjenigen Versuche zusammengestellt werden, welche sich auf die Frage der Konservierung einer Gruppe natürlicher Bausteine beziehen.

Fig. 27.

Bevor diesem Gegenstande näher getreten werden kann, erscheint es nötig eine Auslese der Beobachtungen vorauszusenden, die wir hinsichtlich der Art des Auftretens der Frost- und Wetterschäden bisher zu machen Gelegenheit fanden.

Massige Kalk- und Sandsteinblöcke bersten durch Frostwirkungen, wenn das Material längs vorhandener Adern oder auf kapillarem Wege sich mit Wasser sättigt und der wassersatte Stein durch anhaltend kräftige Fröste überrascht wird. Bruchfeuchte Steine zeigen oft eine weit reichende Erweichung der Masse. In diesem Zustande sind sie gegen Frost empfindlich.

Man pflegt daher örtlich im Spätherbste gebrochene Blöcke während des Winters gedeckt zu halten; sie werden eingeschuttert, oft blos mit Matten bedeckt.

Durch Frostwirkungen geborstenen Quadern im Mauerwerke sind wir bisher nicht begegnet.

Bekannt ist, dass scheinbar massige kompakte Sandsteine, die am Haupte stehen, insbesondere in Fällen, wo auf deren Oberflächen atmosphärische Niederschläge (Schnee, Wasser) liegen bleiben, die absorbierten Säuren (Kohlensäure, Schwefelsäure, durch Oxydation der schwefligen Säuren d. Rauchgase hervorgegangen) einzuwirken Zeit finden, absanden, dass Kalksteine Zerklüftungen, spaltartige Vertiefungen erleiden, in welchen das Wasser liegen bleibt und beim Übergang in feste Aggregatform Gefügelockerungen erzeugt; vergl. Ste. 60 u. 61 des vorliegenden Heftes. Beispiele: Fensterbänke, Kellergeschoss des Hauptgebäudes des schweiz. Polytechnikums, wiederholt mit Cement ausgefugt; Brüstungspilaster, Bahnhofbrücke, Zürich; Lagerquader, Emmebrücke bei Solothurn; u. dgl. m.). Häufig trägt die Bearbeitungsart des Steinmaterials Schuldanteil am vorzeitigen Verderben des Materials. Wir sahen Brückengeländer-Pfosten in Sandstein, welche an drei senkrecht zu einander stehenden Richtungen, schalenförmige Ablösungen (Abblätterungen) des Materials trugen. In Fig. 27 u. 28 haben wir zwei Treppen-Eckpfosten abgebildet,

Fig. 28.

bei welchen der nämliche Quader Abblätterungen nach zwei senkrecht zu einander stehenden Richtungen zeigt, von welchen bloss die eine der Lagerfläche des Materials entsprechen kann. Abblätterungen der offenbar mit *Stock*-Hämmern oder Kröneln bearbeiteten Lagerflächen von *Gneiss*-Quadern, die häuptig verwendet sind, haben wir an Züricher Bauten wiederholt angetroffen.

Dass oolithisch-erdige Kalk- und Sandsteine mit ausgesprochener Wassersaugkraft und relativ niedriger Trockenfestigkeit (vorwiegend unter 400 kg/cm² Druckfestigkeit) mit der Zeit von aussen nach innen fortschreitend absanden, haben wir bereits auf Ste. 60 u. f. angeführt. Die beginnende Absandung giebt sich durch Stumpfwerden der Profile kund; im spätern Verlaufe des Prozesses werden diese oft zur Unkenntlichkeit zerstört. Mitunter sind Flächen und Profile scheinbar intakt; greift man sie an, so zerfallen sie zu Sand.

Die Ursachen der Absandungen haben wir in No. II Ste. 63 u. f. sowie in No. IX erörtert. Wir wissen, dass diese Erscheinungen hervorgerufen sein können:

a. Durch *Wasseraufnahme, Erweichung der Masse* (des Kittstoffs bei Sandsteinen), *Lockerung durch partielle Auflösung der Kittsubstanz* (Überführung in wasserlösliche Form) und Hinzutritt scharfer *Frostwirkungen.*

b. Durch *allmälige Lockerung des Gefüges* durch den Wechsel von Wasseraufnahme (Quellungserscheinung bei thonschüssigen Materialien) und *Wasserabgabe* (Erzeuger der schädlich wirkenden Raumverminderung); *Kontraktion der Masse* und *Erzeugung innerer Spannungen* durch einseitige Erwärmung, die Trennungen des Kittstoffs, Rissbildungen in der verkitteten Substanz erzeugen kann.

Die unter *lit. a* angeführten Wetterschäden sind an solchen Stellen des Steinmaterials anzutreffen, an welchen die Bedingungen anhaltender Wassersättigung erfüllt sind. Die direkt den atmosphärischen Niederschlägen ausgesetzten Steinflächen sind nicht unbedingt diejenigen, welche durch *Frost* am meisten leiden. Mit unverkennbarer Gesetzmässigkeit treten dagegen *Frostschäden* überall da auf, wo das aufgenommene Wasser, sei es auf *Kapillar-Wegen,* sei es bedingt durch die Schwerkraft sich verzieht und sitzen bleibt, wo dasselbe sich ansammeln, die Poren füllen und auf das Material erweichend wirken kann.

Fig. 29 stellt einen Thürpfosten dar. Die Gewandfläche A wird vom Regen direkt nur unwesentlich getroffen. Die vom Hauptgesimse oder der Dachraufe fallenden Tropfen B netzen indirekt, aber ausgiebig die Steinfläche bei C; der Stein zeigt an diesen Stellen tief greifende Frostschäden (Absandungen).

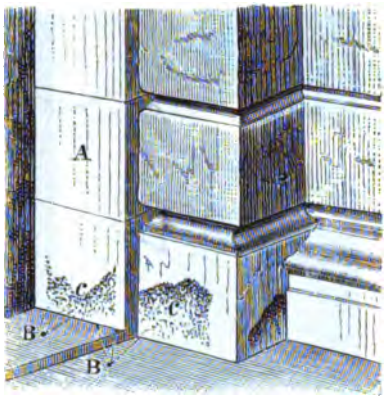


Fig. 29.

Häufig wird das Regenwasser durch Stossfugen aufgesogen und dem Steinmateriale

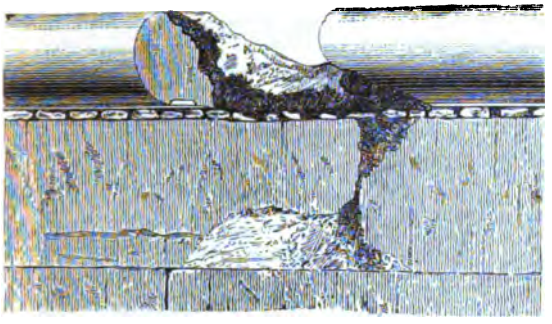


Fig. 30 a.

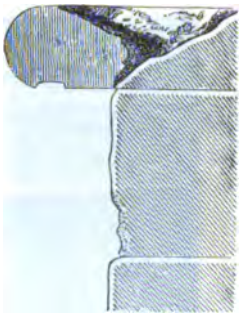


Fig. 30 b.

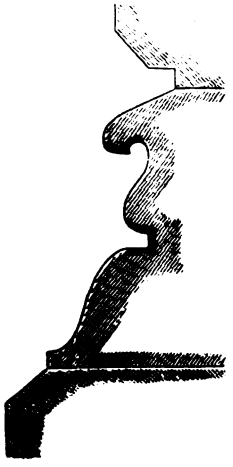


Fig. 31.

von hier aus zugeführt. Fig. 30a u. 30b stellt die Zerstörung eines Stützmauerdeckels an der Stossfuge dar. Ähnliche Vorgänge haben bei den in Fig. 32 u. 33 dargestellten Eckquadern stattgefunden.

In Fig. 31 haben wir das Sockelgesimse des alten Bundesrathauses in Bern, in den Fig. 34—35 verschiedene Gesimse vom Hauptgebäude des Polytechnikums abgebildet. Sämtliche Profile zeigen an jenen Stellen Frostschäden, an welchen das Wasser infolge von Gefällsbrüchen liegen blieb und die Poren des Steines nachhaltig sättigen konnte.

Fig. 32.

Fig. 36 giebt die perspektivische Ansicht einer Ecke des Mittelbaus der Hauptfaçade des schweiz. Polytechnikums. Die ursprüngliche Form und der jetzige Zustand des Rundstabes stellt Fig. 37 dar. Auch hier ist die dem Wind und Wetter direkt ausgesetzte Oberfläche der Quader vollkommen intakt und zeigt gegenwärtig nur ganz untergeordnete Beschädigungen; das Material ist hart, stellenweise mit Vegetation überwuchert.

Fig. 33.

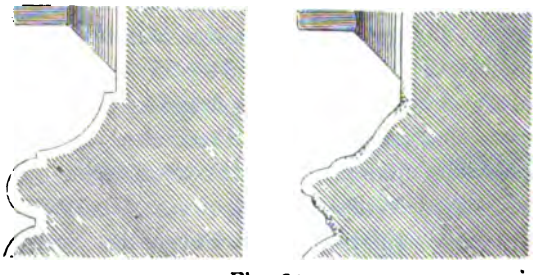


Fig. 34.

Fig. 35.

Die Wassernase am Rundstabe ist zu wenig tief und zu klein; das abfliessende Wasser wird, statt abzutropfen, an den Wandungen der Wassernase aufgesogen und vermehrt die Durchfeuchtung der unter dem Rundstab liegenden Teile des Profils. Diese sind durchwegs, stellenweise bis zur Unkenntlichkeit verwittert.

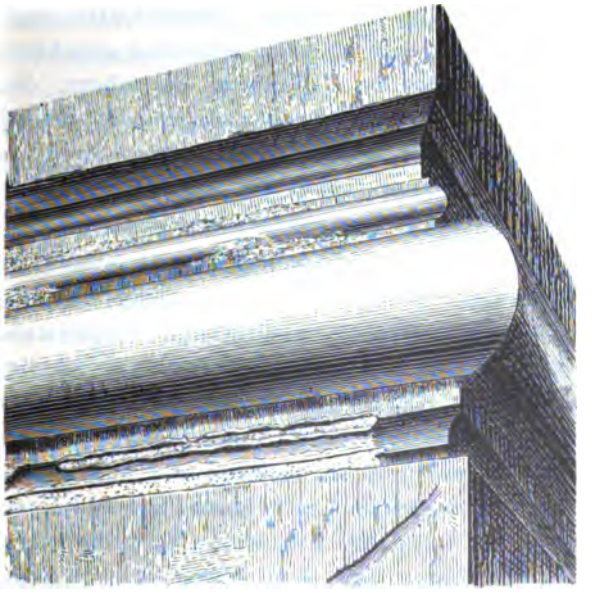


Fig. 36.

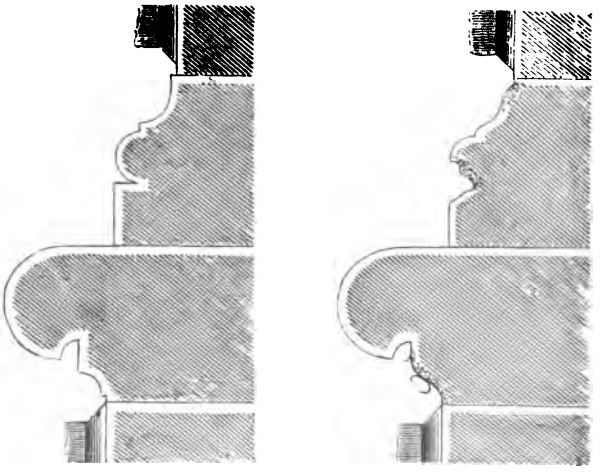


Fig. 37.

Bossenquader sanden naturgemäss bei A ab, vgl. Fig. 38. Eine vielfach beobachtete Erscheinung ist die Verwitterung von Balkonplatten, von Hängeplatten stark ausladender Gesimse und ähnlicher Konstruktionen an der dem Regen nicht direkt ausgesetzten Seite. Das auffallende Wasser dringt kapillar in den Stein, sammelt sich in der untern Plattenhälfte und füllt die Poren hart über der scheinbar geschützten untern Plattenseite. Während die obere, dem Winde und Wetter direkt ausgesetzte Steinfläche abtrocknen kann, führt die untere kapillares Wasser und muss daher durch Hinzutritt ausreichender Fröstewirkungen Schaden nehmen.

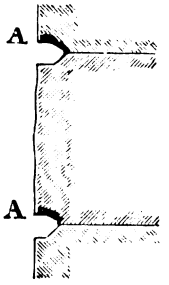


Fig. 38.

Besonderes Interesse bietet Fig. 39. Hier ist ein Stück des Sockelgesimses am Polytechnikum perspektivisch dargestellt. Das längs der Mauerwand abfliessende Regenwasser fliesst zwischen den Bossen auf das Sockelgesimse nieder. In der Ausdehnung, in der sich das abfliessende Wasser ausbreitet, erscheint das Gesimse frei von Staub und Moosansiedelungen und ist relativ gut erhalten, während die angrenzenden Teile verwittert sind. Die gleiche Erscheinung wiederholt sich an der Façade; sie findet darin ihre Erklärung, dass der durch das abfliessende Regenwasser aus dem Mörtel der Stossfugen ausgelaugte Kalk sich in Form von einfach kohlensaurem Kalk in

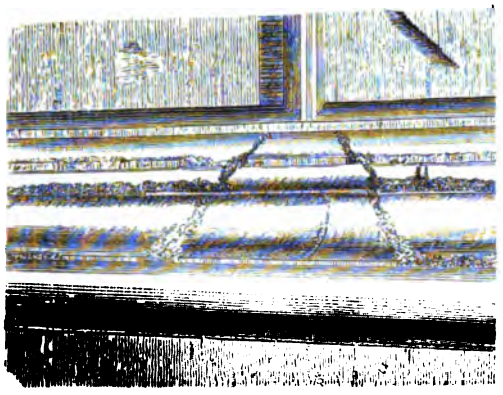


Fig. 39.

die Steinporen eingelagert, diesen lokal imprägniert und damit vor Frostschäden bewahrt hat.

Nach dieser Abschweifung kehren wir nun zur Frage der Konservierung der natürlichen Bausteine zurück.

Die bisher zur Anwendung empfohlenen Mittel lassen sich in eine der folgenden Gruppen einreihen, nämlich:

a. In Hülfsmittel, die einen Schutz des Steinmaterials durch Überzüge anstreben. Hierher gehören die *deckenden Anstriche;*

b. in Hülfsmittel, die eine chemische Umwandlung der Gesteinsart oder deren Komponenten, eine Überführung derselben in eine Wasser unempfindliche, kohaerente, frostbeständige Modifikation bezwecken. Als Hauptrepräsentanten dieser Gruppe sind die *Kessler*'schen *Fluorsilikate* anzuführen. Sie sind bei Kalk- und Sandsteinen mit kalkigem Bindemittel verwendbar und wirken durch Umwandlung des *Kalkkarbonats* in *Fluor-Calcium.* Hierbei wird ohne Änderung der Farbe und Struktur des Steinmaterials ein teilweiser Porenschluss durch die ausgefällte, gallertartige Kieselsäure, durch Fluoride, in besondern Fällen durch Metallverbindungen erreicht*);

c. in Hülfsmittel, die Porenschluss anstreben. Hierher gehört das neuer Zeit vielfach gebrauchte *Testalin von Hartmann & Hauers.* Der zu konservierende Stein muss Wassersaugvermögen

*) Vergleiche in dieser Hinsicht die Arbeit des Verfassers vom Jahre 1887; Schweiz. Bauzeitung, Bd. IX, No. 15, Ste. 92 u. f.

besitzen, porös sein. Derselbe wird zunächst mit einer alkoholischen Ölseife, sodann mit einer Lösung von essigsaurer Thonerde abgerieben, wodurch der Stein fettig wird und in seinen Poren sich ölsaure Thonerde niederschlägt. Das mit Testalin behandelte Gestein wird Wasserabweisend; auffallendes Wasser perlt ab. Die Gesteinsfarbe wird unwesentlich geändert; sie soll frischer, lebhafter werden. Zeichnung und Struktur bleiben unverändert. Die im schweiz. Festigkeits-Institute ausgeführten Versuche beziehen sich lediglich nur auf die Wertschätzung der *Kessler*'schen Fluate.

Die *Kessler*'schen Fluorsilikate sind Derivate der Kieselfluorwasserstoffsäure (H_2SiF_6); die beiden Wasserstoffatome dieser Säure können durch Metalle ersetzt werden und geben die *Kessler*'schen Steinkonservierungsmittel. *Kessler* erzeugt

das Magnesiumfluat,
das Aluminiumfluat,
das Magnesium-Siliciumfluat: $3\,SiF_4 \cdot 3\,MgF_2$,
das Zink-Siliciumfluat: $3\,SiF_4 \cdot 3\,ZnF_2$,
das Aluminium-Siliciumfluat: $3\,SiF_4 \cdot 2\,AlF_3$;

das letztere soll als Voranstrichmittel bei porösen, wenig kalkhaltigen oder kalkfreien Materialien dienen. (?)

Unseren Versuchen lag das Aluminium-, Magnesium- und das sog. Doppel-Fluat zu Grunde. Ersteres ist in flüssigem Zustande, die beiden letzteren dagegen krystallinisch, also in fester Form bezogen worden. Nach Analysen des Herrn Prof. Dr. *Treadwell* besitzen diese Salze folgende Zusammensetzung:

das Magnesium-Fluat: $MgSiF_6 + 6\,H_2O$,
» Doppel-Fluat: $MgSiF_6, ZnSiF_6 + 12\,H_2O$.

Die Zusammensetzung des Aluminium-Fluats wird durch *Kessler* zu $Al_2Si_3F_{18} = 3\,SiF_4 \cdot 2\,AlF_3$ angegeben. Wir haben unterlassen das letztere analysieren zu lassen, weil seine Anwendung nur bedingungsweise geschehen kann.

Die Reaktion des Magnesium- und Aluminiumfluats in Berührung mit kohlensaurem Kalk ist durch folgende Formeln dargestellt:

$2\,AlF_3 + 3\,CaCO_3 = 3\,CaF_2 + Al_2O_3 + 3\,CO_2$,
$MgSiF_6 + 3\,CaCO_3 = 3\,CaF_2 + MgCO_3 + SiO_2 + 2\,CO_2$,
$Al_2Si_3F_{18} + 6\,CaCO_3 = 6\,CaF_2 + 2\,AlF_3 + SiO_2 + 6\,CO_2$,
$Al_2Si_3F_{18} + 9\,CaCO_3 = 9\,CaF_2 + Al_2O_3 + 3\,SiO_2 + 9\,CO_2$.

Das Aluminium-, Magnesium-, Zink-, sowie das Doppelfluat sind farblos und ändern die ursprüngliche Farbe und Struktur des Steinmaterials nicht. Die übrigen Fluate sind farbig, können dazu benutzt werden, dem Steinmaterial beziehungsweise eine grüne, blaue, violette Färbung zu geben. Sämtliche Fluate sind im Wasser ziemlich leicht löslich; im harten Wasser lösen sie sich unter schwach milchiger Trübung desselben. Getrübte Lösungen dieser Art setzen in den Steinporen einen weisslichen Anflug an, der sich mit Wasser schwer abwaschen lässt und nur durch Abschleifen der obersten Steinhaut vollkommen entfernt werden kann. Nacharbeiten zu vermeiden, empfiehlt es sich daher die Fluatkrystalle in gekochtem, destilliertem oder doch aufgefangenem Regenwasser aufzulösen. Der Grad der Konzentrierung der Fluatlösung hängt mit der Porosität und der angestrebten Tiefe der Imprägnierung zusammen. Für poröse, Wasser leicht aufnehmende Sandsteinsorten, empfiehlt *Kessler* 18—20-grädige (Beaumé) Lösungen. Wir haben mit 18-grädigen Lösungen gearbeitet.

Die Wirkung der Fluate ist an die Bedingung der Anwesenheit von kohlensaurem Kalk geknüpft; ihre Wirkung wurde zunächst an gewöhnlicher Tafelkreide, an den kreideartigen Kalksteinen von Agiez (royal blanc d'Agiez) sowie an kalkhaltigem Thonschiefer abprobiert. Hierbei ergab sich, dass die Gesteinssorten, mit Fluorsilikaten behandelt, ohne Änderung der Farbe und Struktur, die Eigenschaft verlieren mit Säuren benetzt aufzubrausen. (Die Schiefertische unserer Laboratorien wurden hierauf fluatiert).

Die *Sandsteine* und diese fallen für uns in erster Linie in Betracht, mussten in einer besondern Untersuchung auf ihren Chemismus geprüft werden, bevor es möglich war, sie der Wirkung der *Kessler*'schen Fluate zu unterwerfen. Diese Zwischenuntersuchung führte zu folgenden Resultaten:

Die grössere Mehrzahl der in Verwitterung angetroffenen Sandsteinsorten braust mit Salzsäure behandelt lebhaft auf; die Kittsubstanz dieser Materialien ist kohlensaurer Kalk. Um die Menge und das Verhalten dieser Kittsubstanz näher kennen zu lernen, haben wir eine Untersuchung eingeleitet, zu welcher sowohl *bekannt gute, frostfeste* als auch Sandsteine mit zweifelhaftem Verhalten eingezogen wurden.

Lauf. No.	Lage des Bruches	Eigentümer (Pächter)	Geologisches Alter	Petrographische Bezeichnung
		Kanton Aargau.		
1	bei Mägenwyl	J. Widmer	Marine Molasse	Muschelsandstein
2	»	»	»	»
3	»	»	»	»
4	in Othmarsingen	J. Ackermann-Wirz	»	»
5	»	»	»	»
6	bei Mägenwyl	Jos. Fischer	»	»
7	»	»	»	»
8	bei Würenlos	Jos. Moser	»	»
9	bei Mägenwyl	Bernh. Seiler	»	»
		Kanton Appenzell.		
10	bei Rorschach	Bart. Benziger	Molasse	mittelk. Sandstein
11	bei Wienachten	Joh. Bischof	Unt. Süssw.-Molasse	feink. Sandstein
12	»	»	»	mittelk. Sandstein
13	in Wienachten	Joh. Niederer	»	»
14	Gem. Wolfhalden	Joh. Ulr. Bänziger	»	»
15	»	»	»	»
16	»	»	»	»
17	in Bühler	Joh. Fisch	»	feink. Sandstn. (?)
18	bei Herisau	Jos. Longoni	Marine Molasse	feink. Sandstein
		Kanton Bern.		
19	Gem. Oberburg	Nic. Mühlethaler	Molasse	feink. Sandstein
20	»	»	»	mittelk. Sandstein
21	Ostermundingen	Aktiengesellschaft	Marine Molasse	feink. Sandstein
22	»	»	»	»
23	Gem. Oberburg	Joh. Tomi	»	mittelk. Sandstein
24	Gem. Bolligen	Joh. Reber	»	»
25	in Stockern	Joh. Räber	»	»
26	Ostermundingen	Jac Zimmermann	»	»
27	»	»	»	»
		Kanton Freiburg.		
28	Gem. Echarlens	Jul. Deschenaux	Marine Molasse	feink. Sandstein
29	in Attalens	Mich. Carminati	Unt. Süssw.-Molasse	mittelk. Sandstein
30	in Vaulruz	Maur. Borcard	Marine Molasse	»
31	Gem. Freiburg	A. Winkler & J. Fischer	»	feink. Sandstein
32	»	»	»	»

Farbe	Wirkliche Dichte	Spec. Gewicht	Porosität %	Wasseraufnahme %	Chem. Zusammensetzung: Unlöslich (Sandsubst.) %	Eisenoxyd + Thonerde %	Kohlensaurer Kalk %	Feuchtigkeit %	Druckfestigkeit kg/cm²: trocken	Erweich.-Koeffizient $\frac{\beta_t}{\beta_n}$
Kanton Aargau.										
grau	2,68	2,65	1,0	1,90	38,3	4,0	58,7	0,1	935,0	—
gelblich	2,66	2,39	10,5	2,50	31,1	1,5	65,6	3,1	361,5	1,47
bläulich	2,69	2,68	0,5	1,60	37,5	2,3	58,7	2,5	1000,0	1,16
grau	2,67	—	—	2,10	—	—	—	—	863,0	—
»	2,68	2,45	9,0	1,60	25,6	1,6	71,1	1,2	589,2	1,05
hellgrau	2,67	2,40	10,0	3,35	23,0	2,0	76,2	0,3	611,0	—
grau	2,67	2,44	9,0	1,60	30,2	1,4	68,2	1,7	422,3	1,14
hellgrau	2,64	2,44	7,5	2,60	25,9	1,4	71,9	0,6	632,0	—
hellgelblichgrau	2,65	2,42	9,0	2,10	27,2	1,1	72,0	0,9	389,0	—
Kanton Appenzell.										
grünlichgrau	2,66	2,41	9,5	2,10	75,1	2,5	21,5	0,4	505,0	—
bläulichgrau	—	—	—	2,60	—	—	—	—	535,0	—
hellgrau	—	—	—	1,80	—	—	—	—	755,0	—
»	—	—	—	2,40	—	—	—	—	716,0	—
grau	2,63	2,34	13,0	2,50	83,6	2,5	11,8	1,3	405,0	—
bläulichgrau	2,62	2,41	8,0	0,90	84,1	1,8	13,2	1,2	469,5	1,16
gelblichgrau	2,60	2,35	12,0	1,80	86,6	1,8	9,9	1,6	389,5	1,33
grau	2,68	2,63	2,0	0,90	2,2	28,1	70,2	0,2	1634,0	—
dunkelgrau	2,73	2,70	1,0	0,27	28,6	3,4	65,0	0,4	1398,0	1,05
Kanton Bern.										
gelblichgrau	2,68	2,10	21,7	5,50	69,9	4,3	25,1	1,4	317,0	1,96
bläulichgrau	2,69	2,25	17,4	4,20	74,4	3,1	20,7	1,3	363,0	1,19
»	2,65	2,17	18,2	5,20	73,4	4,2	18,8	1,1	325,0	1,69
gelblichgrau	2,68	2,19	13,5	5,40	74,4	3,6	18,9	0,9	306,0	1,70
hellgelblichgrau	2,60	2,17	16,6	5,70	71,3	3,8	25,0	0,5	230,0	2,70
gelblichgrau	2,62	2,23	15,0	5,50	72,4	3,3	23,7	0,8	279,0	2,12
grünlichgrau	2,68	2,16	19,5	6,30	71,0	2,8	25,3	1,7	203,0	—
gelblichgrau	2,67	2,27	15,0	5,30	72,3	3,7	21,3	1,8	268,0	1,48
bläulichgrau	2,69	2,26	16,0	5,50	72,5	3,0	22,8	1,8	327,0	1.78
Kanton Freiburg.										
hellgrau	—	—	—	0,59	74,1	7,1	18,5	1,0	884,0	—
grau	2,70	2,61	3,7	0,80	36,0	2,7	59,1	0,4	1629,0	—
»	2,68	2,43	9,4	1,70	67,6	4,1	25,9	1,1	1101,0	—
gelblichgrau	2,74	2,23	18,7	5,40	66,9	3,5	27,0	1,3	306,0	1,81
bläulichgrau	2,79	2,17	22,3	6,00	70,5	2,7	25,2	0,4	355,0	1,78

Lauf. No.	Lage des Bruches	Eigentümer (Pächter)	Geologisches Alter	Petrographische Bezeichnung
		Kanton Luzern.		
33	Gem. Root	Ign. Herzog & Sohn	Marine Molasse	feink. Sandstein
34	Gem. Dierikon	Jos. Meier	»	mittelk. Sandstein
		Kanton Schaffhausen.		
35	Gem. Oberhallau	H. Graf	Keuper	z. feink. Sandstein
36	»	»	»	»
37	Gem. Schleitheim	Gebr. Stamm	»	mittelk. Sandstein
38	»	»	»	»
39	»	»	»	»
		Kanton Schwyz.		
40	Gem. Freienbach	Gregor Nötzli	Marine Molasse	mittelk. Sandstein
		Kanton St. Gallen.		
41	Buchen b. Staad	Val. Bärlocher	Molasse	mittelk. Sandstein
42	Gem. Bolligen	Jos. Furrer	Marine Molasse	»
43	Buchen b. Staad	Joh. Con. Gasser	Molasse	»
44	Oberbolligen	Kuster & Murer	»	»
45	Wolfhaag b. Degersheim	Wittwe Lehner	Mittel-Tertiär	feink. Nagelfluh
46	Gem. Wattwyl	Huldr. Mejer	Unt. Süssw.-Molasse	feink. Sandstein
47	Buchen b. Staad	Valentin Raggenbas	Marine Molasse	»
48	St. Margarethen	Ruesch & Eugster	Unt. Süssw.-Molasse	grobk. Sandstein
49	Scheftenau b. Wattwyl	M. Stäheli & J. Zwingli	»	»
50	Oberbolligen	Mich. Vogt	Molasse	»
51	Uznach b. Schmerikon	Wenk & Kuster	Unt. Süssw.-Molasse	mittelk. Sandstein
52	Mels	L. Zimmermann & Söhne	Verrucano	Quarzit-Conglomerat
		Kanton Zug.		
53	Gem. Walchwyl	J. C. Fuog	Molasse	feink. Sandstein
54	Gaisrain b. Zug	Cajetan Henggeler	Unt. Süssw.-Molasse	mittelk. Sandstein
55	Gem. Walchwyl	Dagobert Reiser	Marine Molasse	»
56	Am Gubel, Menzingen	Jos. Weber	Unt. Süssw.-Molasse	»

Farbe	Wirkliche Dichte	Spec. Gewicht	Porosität %	Wasseraufnahme %	Chem. Zusammensetzung: Unlöslich (Sandsubst.) %	Eisenoxyd + Thonerde %	Kohlensaurer Kalk %	Feuchtigkeit %	Druckfestigkeit kg/cm²: trocken	Erweich.-Koeffizient $x = \frac{\beta_t}{\beta_n}$
Kanton Luzern.										
bläulichgrau	2,70	2,52	9,7	1,40	—	—	—	—	899,0	1,48
»	2,73	2,48	9,2	1,95	—	—	—	—	709,0	1,46
Kanton Schaffhausen.										
gelblichgrau	2,54	1,96	22,9	8,10	95,4	2,20	Spuren	2,1	277,0	1,50
rötlichbraun	2,57	2,17	12,5	4,60	90,5	4,70	2,2	2,4	427,0	1,68
gelblichgrau	2,58	2,02	21,4	5,50	90,4	5,10	2,9	1,1	273,0	1,17
rötlichgrau	2,61	2,17	16,9	4,60	88,9	5,40	1,8	2,1	413,0	1,28
rotbraun	2,62	2,04	21,0	6,70	91,0	4,50	2,0	1,7	273,0	–
Kanton Schwyz.										
grau	2,76	2,48	10,0	2,00	73,2	4,7	22,1	1,4	697,0	—
Kanton St. Gallen.										
grau	2,65	2,28	14,0	2,20	69,7	3,3	26,5	1,3	536,0	—
»	2,66	2,35	11,7	2,40	79,5	2,3	17,3	1,4	611,0	—
blaugrau	2,66	2,38	10,6	2,70	70,5	2,7	25,4	0,9	568,0	—
gelblichgrau	2,63	2,30	12,6	3,20	91,5	1,6	7,0	0,6	447,0	—
bunt	2,73	2,65	2,9	0,20	89,7	0,9	6,2	2,5	1443,0	—
gelblichgrau	2,68	2,31	14,0	4,10	88,4	1,5	8,7	1,5	447,0	1,56
bläulichgrau	2,66	2,51	5,7	2,40	58,3	22,4	20,3	0,6	683,0	—
grau	2,65	2,33	12,1	2,10	82,4	2,4	14,5	0,4	583,0	1,41
»	2,66	2,28	14,3	2,30	88,3	2,3	8,5	0,5	519,0	1,17
hellgrau	2,62	2,43	7,3	2,60	79,4	0,8	17,9	1,3	664,0	—
»	2,61	2,41	7,7	2,10	83,0	2,4	14,3	1,1	785,0	1,24
rötlich	2,73	2,58	5,5	0,00	94,3	1,1	3,6	0,6	953,0	—
Kanton Zug.										
grau	2,61	2,53	3,0	1,00	80,8	4,1	17,0	0,5	869,0	—
hellgrau	2,68	2,32	13,5	1,97	86,9	1,6	11,7	0,2	610,0	1,40
bläulichgrau	2,65	2,54	4,2	1,30	84,4	3,0	11,5	1,4	608,0	—
hellgrau	2,65	2,45	5,5	1,70	87,2	1,9	9,1	1,0	605,0	1,15

Ermittelt wurde:

a. Die chemische Zusammensetzung des Versuchsmaterials; und zwar die *Sandsubstanz, Eisenoxyd und Thonerde;* die *Karbonate* (als Calciumkarbonat), endlich das Wasser + Bit.;

b. von den *physikalischen Eigenschaften:* die *Farbe;* die *Dichte;* das *specifische Gewicht;* die *scheinbare Porosität* (aus der Wasseraufnahme); die *Wasseraufnahme;* die *Trocken- und Nassdruckfestigkeit,* aus den letztern wurde der Erweichungs-Koeffizient als Quotient:

$$x = \frac{\text{spez. Trockenfestigkeit}}{\text{spez. Nassfestigkeit}} = \frac{\beta_t}{\beta_n}$$

berechnet.

Bezüglich der Art der Ermittlnng der vorstehend angeführten, physikalischen Eigenschaften der Versuchsmaterialien haben wir den Mitteilungen der Einleitung des vorliegenden Heftes nichts beizufügen. Die chemisch-analytischen Bestimmungen erfolgten nach Anleitung des folgenden Verfahrens:

Eine gute Durchschnittsprobe der zerkleinerten Substanz wurde mit verdünnter Salzsäure behandelt, 15 Minuten gekocht, filtriert, ausgewaschen, der Rückstand nass verbrannt und als Sandsubstanz gewogen. Durch Fällung mit kohlensäurefreiem Ammoniak wurde aus dem Filtrat das Eisenoxyd und die Thonerde abgeschieden, filtriert, gewaschen, nass verbrannt und gemeinsam gewogen. In einer besondern Probe wurde die Kohlensäure (volumometrisch) und das Wasser + Bitumen bestimmt. Die erstere ist auf Kalk berechnet und als Calciumkarbonat in Rechnung gestellt worden. Die Trennung der löslichen Kieselsäure vom Quarzsand der Sandsubstanz lag nicht im Rahmen unserer Arbeit und ist daher bloss in einzelnen Fällen durchgeführt worden.

Die vorstehenden tabellarischen Zusammenstellungen enthalten die gewonnenen Resultate. Aus diesen geht hervor:

1. *Die untersuchten Sandsteinsorten enthalten ein kalkiges Bindemittel.* Eine Ausnahme bildet der Keuper-Sandstein aus dem Kanton Schaffhausen, dessen Bindemittel thonig bezw. kieseliger Art ist.

2. *Die untersuchten Sandsteinsorten besitzen mehr oder weniger ausgesprochene Wassersaugkraft.* Das Mass derselben

und mit ihr die scheinbare Porosität bildet nur insofern einen Gütemesser, als Steine, die keine oder nur eine geringe Wasseraufnahmsfähigkeit besitzen, im Wasser weder erweichen noch durch die Expansionswirkung des Eises Schaden nehmen können.

3. *Sämtliche der untersuchten Sandsteinsorten, gleichviel ob deren Bindemittel kalkiger, thoniger oder kieseliger Beschaffenheit sei,* besitzen die Eigenschaft in Wasser zu erweichen. Am geringfügigsten erweicht der Sandstein mit kieseligem Bindemittel (Keuper von Schleitheim). Die thonigen Sandsteine erweichen denjenigen ähnlich, deren Bindemittel kalkiger Beschaffenheit ist. Die Grenze der Erweichungsfähigkeit dieser Gesteinsarten bleibt weitern Versuchen vorbehalten. Aus vorstehenden Zusammenstellungen geht ferner hervor, dass

4. *Sandsteine mit anerkannt frost- und wetterbeständigem* Charakter in der Probe durch ein geringes Mass von Erweichungsfähigkeit gekennzeichnet sind. Hierher gehört die durch ihre hohe Frost- und Wetterbeständigkeit ausgezeichnete *Marine-Molasse des Kantons Aargau;* die Erweichungskoeffizienten der wirklich guten Sorten bewegen sich in der Zahlenreihe: 1,05; 1,14; 1,16.

Die Erweichungsfähigkeit der ebenfalls als wetterfest bekannten Appenzeller Sandsteine konnten leider nur in drei Sorten geprüft werden. Vergleicht man deren Trockenfestigkeit, Porositäts- und Wasseraufnahmsverhältnisse mit jenen der übrigen Sorten, so erhellt, dass fragliche drei Spezies die ganze Gruppe mindestens nicht zu günstig kennzeichnen. Die Erweichungs-Koeffizienten erreichen folgende Zahlen:

$$x = 1{,}05;\ 1{,}16;\ 1{,}33.$$

Als sehr frost- und wetterbeständig gelten die guten Bänke der Steinbrüche am *Gubel* bei Menzingen ($x = 1{,}15$), die Keuper-Sandsteine von Schleitheim ($x = 1{,}17;\ 1{,}28$), welche dank ihrer Zähigkeit und Wetterbeständigkeit vielfach zu Bildhauerarbeiten benützt werden u. s. w.

Poröse, wassersaugende Kalke und Sandsteine mit einer Trockenfestigkeit von unter 400 kg/cm² und einem Erweichungs-Koeffizienten $x \geqq 1{,}3$ sind hinsichtlich ihrer Frostbeständigkeit mindestens zweifelhaft. Uns ist kein Material dieser Art bekannt, welches sich bei $x \geqq 1{,}3$ als frostfest bewährt hätte. Leider gilt

auch die Umkehrung. Steine mit einer *anfänglich* geringen Wassersaugkraft, geringer Porosität, geringer Erweichungsfähigkeit und einer Trockenfestigkeit von über 400 kg/cm² können durch Einwirkung der Atmosphärilien, namentlich der Rauchgase oft weitgehende Verwitterungsschäden erleiden. Beispiele von Steinen mit solchem Verhalten sind recht zahlreich; wir erinnern nur an die kalkhaltigen Thonschiefer (namentlich Dachschiefer dieser Art), an die scheinbar kompakten, in Wirklichkeit dünngeschichteten Kalksteine; an die geaderten Marmore (Braunschweig-Denkmal, Genf), und andere Spezies ähnlicher Gesteinsarten.

Resultate der Untersuchung der Wirkung des Kessler'schen Magnesiumfluats auf den Molasse-Sandstein von Freiburg (Schweiz).

Die Untersuchung geschah auf Antrag des Herrn Staatsrat *Theraulaz* in Freiburg. Von den eingelieferten 8-ter förmigen Probekörpern mit ca. 5,0 cm² Bruchquerschnitt wurde an je einer Hälfte die Trocken-Zugfestigkeit bestimmt. Die andere Hälfte ist durch 2-maliges Einlegen in eine 18-grädige Magnesiumfluatlösung imprägniert, hierauf an der Luft, schliesslich in einem auf ca. 80° C. geheizten Darrschranke getrocknet und sodann zerrissen worden. Zur Ausführung von Frostversuchen reichte das gelieferte Material nicht. Folgende Zusammenstellungen enthalten die gewonnenen Resultate:

	Gelber Sandstein	Blauer Sandstein
Gehalt an kohlensaurem Kalk ($CaCO_3$) . . .	26,24 %	23,18 %
Zugfestigkeit des Materials, wasserfrei:		
nicht imprägniert	16,9 kg/cm²;	21,1 kg/cm²
imprägniert	30,3 »	26,4 »
Differenz . .	13,4 kg/cm²;	5,3 kg/cm²
oder	+ 79 %	+ 25 %

Resultate der Untersuchung der Wirkung des Kessler'schen Magnesiumfluats auf den grauen Keuper-Sandstein von Schleitheim (Schaffhausen).

Die im Auftrage des Herrn *Oberst F. Locher* in Zürich an Probekörpern 8-ter förmiger Gestalt mit ca. 5,0 cm² Bruchquerschnitten ausgeführten Versuche ergaben folgende Resultate:

Spez. Gewicht	$\gamma = 2{,}59$	Wasseraufnahme . .	9,3 % vom Steingew.
Raum-Gewicht	$\delta = 2{,}04$	» . .	18,8 » » Steinvol.
Porosität . .	$n = 21{,}7\,\%$	Chem. Zusammensetzung nicht ermittelt.	

Zugfestigkeit des nicht imprägnierten Materials

in trockenem Zustande	22,9 kg/cm²
in wassersattem Zustande*) . . .	8,3 »
Kohäsionsverlust	63,8 %

Die Zusammensetzung des grauen Schleitheimer Keuper-Sandsteines, vergl. Ste. 318 veranlasste das folgende Vorgehen:

Eine Partie der eingelieferten Probekörper wurde in eine 18-grädige Magnesiumlösung in Intervallen von ca. 8 Tagen dreimal für die Dauer von je 12 Stunden eingelegt, an der Luft, schliesslich im Darrschrank getrocknet und zerrissen. Gleichzeitig wurde eine andere Partie der Probekörper dreimal für die gleiche Dauer (ca. 12 Stunden) in Intervallen von ca. 3 Tagen vorerst in eine gesättigte Barytlösung eingelegt, an der Luft getrocknet, sodann gleich den nicht barytierten Probekörpern behandelt. Das Ergebnis der Arbeit war folgendes:

	Zugfestigkeit des Materials Trocken-Zustand
Nicht imprägniert	22,9 kg/cm²
Mit Magnesiumfluat imprägniert	41,2 » d. h. 79,9 %,
» Baryt- und Magnesiumfluat imprägniert . . .	35,5 » » 55,0 »

von der Trockenfestigkeit in nicht imprägniertem Zustande.

Frostbeständigkeits-Proben. Ca. 10 Tage nach der Fluatierung des Materials wurden die für die Frostproben bestimmten Probekörper in ein Wasserbad gelegt und bis zur völligen Sättigung darin belassen (ca. 14 Tage). Hierauf wurden die Probekörper einem 30-maligen Wechsel von Gefrieren bei ca. — 15° C. und Wiederauftauen in Wasser von ca. + 12° C. ausgesetzt. Die eine Hälfte der so behandelten Proben wurde sodann in *nassem,* der Rest in *wasserfreiem* Zustande der Zerreissprobe unterworfen. Diese Versuche ergaben:

Imprägniert	*Zugfestigkeit des Materials* *ohne Baryt*	*mit Baryt*
in trockenem Zustande, ohne Frostwirkung . .	41,2 kg/cm²;	35,5 kg/cm²
» » » nach 30-mal. Frosteinw. .	42,3 »	25,9 »
» wassersatt. Zustande, » » » .	21,5 »	13,8 »

Hiernach beträgt die *Änderung* der Zugfestigkeit des imprägnierten Materials

durch die Frostwirkung in trockenem Zustande .	+ 2,7 %	— 27,0 %
» » » » wassersattem » .	— 47,8 »	— 61,1 »

*) Nach 4-wöchentlicher Wasserlagerung.

Resultate der Untersuchung der Wirkung des Kessler'schen Aluminium- und Magnesiumfluats auf den Ostermundinger Molasse-Sandstein (Bern).

Zur Untersuchung gelangten beide Sorten, nämlich der *blaue* und *gelbe* Sandstein von Ostermundingen.

Die chemische Analyse dieser Steinsorte hat Herr *von Wartenberg* in Bern (1884) ausgeführt und gefunden:

	Blauer	Gelber Sandstein
Sand	67,00 %	68,00 %
lösliche Kieselsäure	2,10 »	2,20 »
Thonerde	0,80 »	0,70 »
Eisenoxyd	4,90 »	4,90 »
Manganoxydul	0,50 »	0,60 »
Kohlensaurer Kalk	18,65 »	17,65 »
Phosphorsaurer Kalk	1,09 »	1,09 »
Kohlensaure Magnesia	1,26 »	1,26 »
Alkali	Spur	Spur
Wasser	3,64 »	3,60 »
	99,94 %	100,00 %
Nach hier ausgeführten Analysen beträgt der als Bindemittel der Quarzkörner auftretende kohlensaure Kalk	18,8 %	18,9 %

Von jeder der eingelieferten Steinsorten wurden 8 Körper in lufttrockenem Zustande zerrissen; weitere 8 Stück wurden nach vorangegangener Trocknung bei 110° C. in ein Wasserbad getaucht und nach Feststellung der maximalen Wasseraufnahme, d. h. nach 38-tägiger Wasserlagerung, endlich 8 weitere Stück in gedarrtem, d. h. bei 110° C. bis zum konstanten Gewicht getrocknetem Zustande zerrissen. Eine grössere Anzahl der Probekörper wurde sodann in die Aluminium-, beziehungzweise Magnesiumfluatlösung derart getaucht, dass anfänglich das Entweichen der Porenluft der Probekörper ungehindert stattfinden konnte. Beim Eintauchen der Versuchskörper in das Aluminiumfluat trat eine energische Kohlensäure-Entwicklung, ein lebhaftes Aufbrausen ein; die Probekörper im Magnesiumfluat zeigten dieselbe Erscheinung, nur in geringerem Masse.

Nach 10-stündiger Lagerung in den Lösungen wurde ein Teil der Probekörper zunächst während mehrerer Tage (ca. 10 Tage) an der Luft, sodann bei 110° C. in einem Darrschranke ebenfalls bis zum konstanten Gewicht getrocknet und hierauf zerrissen. Der Rest der imprägnierten und nicht imprägnierten

Proben wurde in wassersattem Zustande einem 30 mal wiederholten Gefrieren und Auftauen unterworfen. Die Dauer einer Frostwirkung währte 3 bis 4 Stunden; die Temperatur unseres Eisschrankes variierte zwischen —10 und 15° C. Nachdem die der Frostprobe unterworfenen Probekörper ebenfalls zunächst an der Luft, hierauf im Darrschrank getrocknet waren, sind dieselben ebenfalls zerrissen worden. Folgende Zusammenstellung giebt den Protokollauszug über fragliche Versuche:

1. Geologische und petrographische Bezeichnung des Materials:

Marine Molasse, ziemlich feinkörniger Sandstein von bläulichgrauer, beziehungsweise gelblichgrauer Farbe.

2. Dichte und spez. Gewicht (Mittel aus zwei Versuchen):

beim:	*blauen*	*gelben Sandsteine*
betrug das spez. Gewicht	2,69	2,66
das Raum-Gewicht	2,21 kg/dm³	2,22 kg/dm³

3. Porosität:

beim *blauen* Sandsteine . . 17,8 % des Steinvolumens
» *gelben* » . . 16,5 » » »

4. Wasseraufnahme:

Das Maximum der Wasseraufnahme wurde nach 38-tägiger Wasserlagerung erreicht und beträgt im Mittel aus 8 Versuchen:

beim *blauen* Sandsteine . . 15,1 % des Steinvolumens
» *gelben* » . . 14,1 » » »

5. Festigkeitsverhältnisse des nicht imprägnierten Materials:

beim:	*blauen*	*gelben Sandsteine*
in wasserfreiem Zustande	14,6 kg/cm²	16,0 kg/cm²
in lufttrockenem »	9,0 »	7,0 »
in wassersattem »	3,4 »	3,6 »

6. Festigkeitsverhältnisse des imprägnierten Materials:

Imprägnierungsmittel:	*Magnesiumfluat*;		*Aluminiumfluat.*	
Steinsorte	*blau*	*gelb*	*blau*	*gelb*
Trockenfestigkeit . .	23,9 kg/cm²,	22,6 kg/cm²;	17,2 kg/cm²,	13,9 kg/cm²

Im Vergleiche zu der Trockenfestigkeit der nicht imprägnierten Proben beträgt die Festigkeitsänderung:

+ 63,7 % + 41,3 % + 16,4 % — 13,1 %.

7. Festigkeitsverhältnisse des nicht imprägnierten Materials nach 30-maliger Frostwirkung:

beim:	*blauen*	*gelben Sandsteine*
Trockenfestigkeit	11,4 kg/cm²;	13,1 kg/cm²
Gewichtsverlust durch Frostwirkung . .	1,36 %	1,24 %

Im Vergleiche zur Trockenfestigkeit der nicht ausgefrorenen Proben beträgt die Festigkeitsänderung: beim *blauen* — 21,9 % *gelben Sandsteine* — 18,1 %

8. Festigkeitsverhältnisse des imprägnierten Materials nach 30-maliger Frostwirkung:

Imprägnierungsmittel:	*Magnesiumfluat;*		*Aluminiumfluat.*	
Steinsorte	*blau*	*gelb*	*blau*	*gelb*
Trockenfestigkeit . . .	25,1 kg,	23,7 kg;	14,5 kg,	12,5 kg/cm²
Gewichtsverlust*) . . .	0,60 %	1,00 %	0,81 %	1,10 %

Im Vergleiche zur Trockenfestigkeit des imprägnierten, nicht ausgefrorenen Materials beträgt die Festigkeitsänderung: + 5,0 % + 5,4 % — 15,6 % — 10,1 %

Aus vorstehenden Zahlen erhellt zur Genüge, dass das *Kessler'*sche Magnesiumfluat ein äusserst wirksames Härtungsmittel kalkhaltiger Sandsteine und der oolithisch erdigen, porösen Kalksteine ist. Das Aluminiumfluat hat das Steinmaterial nachteilig beeinflusst. Angesichts der energischen Kohlensäure-Austreibung konnte nichts anderes erwartet werden. Möglicher Weise hat die Lösung noch freie Kieselfluorwasserstoffsäure enthalten, in welchem Falle die Bildung eines in Wasser löslichen Calciumfluats nicht ausgeschlossen, die Abschwächung des Steinmaterials durch Auslaugung eines Teiles der Kittsubstanz erklärt wäre.

Ähnlich, jedoch weniger kräftiger, wirken die *Kessler'*schen Doppelfluate und das Zinkfluat. Die übrigen Fluate zu prüfen, hatten wir bisher keine Gelegenheit.

Neben den vorstehend zusammengestellten Laboratoriumsversuchen haben wir Veranlassung genommen, auch Versuche im grossen auszuführen. Nach einer Vereinbarung mit Herrn Direktor *Jenzer* wurden in der Nähe des Bahnhofes zu Ostermundingen vorläufig 19 Stück Platten von 30 cm auf 30 cm freistehend und derart in Cementmörtelbänder vermauert, dass die glatt gearbeiteten Flächen der Versuchsplatten die Bekrönung eines etwa 1,6 m hohen Sockels bilden. 11 Stück dieser Platten wurden aus im Sommer 1886 gebrochenen blauen, blaugrauen und grauen Blöcken herausgearbeitet und Mitte September ohne weitere Behandlung, also in frischem Zustande und zwar teils am Haupte stehend, teils am natürlichen Lager vermauert. Die übrigen 8 Platten sind ältern Datums; sie wurden durch Herrn

*) Gewichtsverlust rührt grösstenteils vom Auslaugen der Zersetzungsprodukte des Fluats her.

Direktor *Jenzer* im Dezember 1885 teils mit Magnesium-, teils mit Aluminium- und Doppelfluat in verschiedenen Sättigungsgraden der Lösungen durch Anstrich imprägniert. Über den Zustand der nicht imprägnierten, sowie über die Art Imprägnierung der ältern Platten wurde durch den Berichterstatter am 9. Oktober 1886 ein Protokoll aufgenommen. Am gleichen Tage und im Beisein des Berichterstatters sind die frischen Versuchsplatten mittelst einer *Kessler*'schen Fluatspritze in gleicher Weise imprägniert worden, wie dies bei Fluatierung von fertigen Façaden oder deren besonders exponierte Teile geschieht. Am 11. und 13. Oktober wurde das Anspritzen der Versuchsplatten durch Herrn Direktor *Jenzer* wiederholt. Jedesmal ist bei nicht unbeträchtlichem Verlust durch Abtropfen u. s. w. auf 3 kg Brunnenwasser 1 kg Magnesiumfluat verbraucht worden. Die Lösung zeigte eine Sättigung von ca. 18° Beaumé.

Die in vorstehend beschriebener Art imprägnierten Platten blieben sich nun selbst überlassen. Vom 1. Dezember 1886 ab und zwar bis zum Eintritt scharfer Winterfröste sind dieselben täglich Abends nach 4 Uhr mit Wasser bespritzt worden.

Am 9. März 1887 erfolgte die erste Besichtigung des Versuchsmaterials zu Ostermundingen. Sämtliche Platten sind hierbei in tadellosem Zustande angetroffen worden. Die ältern 8 Platten zeigen die ursprünglichen, dem Ostermundinger Materiale eigentümlichen Farben unverändert. Die übrigen tragen dagegen einen, wahrscheinlich vom kalkigen Wasser herrührenden, weisslichen Anflug.

Montag den 16. Oktober 1899 erfolgte die zweite Besichtigung des Ostermundinger Versuchsobjektes. Sein Zustand bekundete die Wirkung der Fluatierung in unverkennbarer Weise. Dessen ungeachtet brachte der Zustand des Objektes etwelche Enttäuschung. Die glatten Bekleidungsplatten liessen nichts zu wünschen übrig. Die profilierten Deckstücke waren dagegen an den Traufkanten, an den Wassernasen, an den Stossstellen, kurz an den Stellen, wo das Wasser kapillar festgehalten wurde noch intakt, doch mürbe; *schädliche Frostwirkungen* waren unverkennbar.

Im Auftrage des Berichterstatters wurden die schadhaft angetroffenen Stellen abgenommen, und die frisch bearbeiteten Steinflächen neuerdings fluatiert.

XI. Über die elastischen Formänderungen auf Biegung beanspruchter Steinbalken.

Der Frage der elastischen Formänderungen auf Biegung beanspruchter Steinbalken ist bekanntlich Prof. Dr. *Föppl,* der Vorsteher des mech.-techn. Laboratoriums der technischen Hochschule in München, in einer grösseren Versuchsreihe näher getreten — vergl. die Mitteilungen des mech.-techn. Laboratoriums der technischen Hochschule München, Heft 24 — und hat neuerdings bestätigt, dass benachbarte Querschnittsflächen eines deformierten, auf Biegung beanspruchten Steinbalkens, entgegen den Annahmen der Biegungslehre, nicht ebenflächig bleiben, und die Nullaxen Lagenänderungen im Sinne einer Verschiebung nach der Druckseite erfahren. Prof Dr. *Föppl* experimentierte mit Steinbalken von 170 cm Länge, 20 cm Breite und 30 cm Höhe, wählte zu seinen Versuchen einen mittelkörnigen Granit vom Blauberg, Bayern, sowie einen Main-Sandstein von Höchberg und fand, dass für beide Materialsorten die Verschiebung der Nullaxe in gleichem Sinne erfolge und zwar beim Granit vom Blauberg und 8 t Belastung um 9 mm also ca. 3% der Balkenhöhe, beim Main-Sandstein und 1,2 t Belastung um 7 mm also ca. 2%. Der Kraftangriff erfolgte auf die Balkenmitte, während die beobachteten Querschnittsflächen (Stiftenreihen) um bezw. 7,5 und 22,5 cm von der Balkenmitte entfernt gewählt waren.

Vorliegende Arbeit hat den Zweck, die Ergebnisse der *Föppl*'schen Untersuchungen, soweit sich diese auf die Form der Querschnittsflächen und die Lage der Nullfaser gebogener Steinbalken beziehen zu kontrollieren. Zu diesem Ende hatten wir uns

a. 3 Sandsteinbalken aus dem Bruche »*alla Molera*« in Oggiono,

b. 3 Balken in Bavenogranit,

c. 3 Balken in Gotthardgranit beschafft.

Die letztgenannten stellte das *Granitwerk* von Gurtnellen, die unter *a* und *b* angeführten Herr Ingenieur *Rob. Hardmeier* in Oggiono kostenfrei zur Verfügung.

Die Druckfestigkeit des Oggiono-Sandsteins beträgt 2,092 t/cm²;
» » » Baveno-Granits » 1,750 » ;
» » » Gotthardgranits von Gurtnellen » 1,742 » .

Die bezogenen Granit- und Sandsteinbalken wurden im schweiz. Festigkeits-Institute möglichst ebenflächig bearbeitet, ausgemessen und je ein Exemplar zur Feststellung der Biegefestigkeit benützt. Es geschah dies bei einer Freilage der Steinbalken von 150 cm, einer allmählich gesteigerten Belastung auf die Balkenmitte und unter Anwendung der nämlichen Maschine, welche zur Messung der elastischen Formänderung der Steinbalken zur Anwendung kam. Diese orientierenden Vorversuche ergaben folgende Resultate:

Sandstein von *Oggiono:*

Bruchkraft: $B = 14{,}50$ t; Biegungsfestigkeit: $\beta = \frac{M}{W} = \frac{543{,}8}{2951{,}3} = 0{,}184$ t/cm²

Granit von *Baveno:*

Bruchkraft: $B = 7{,}45$ t; Biegungsfestigkeit: $\beta = \frac{M}{W} = \frac{279{,}4}{2914{,}8} = 0{,}096$ t/cm²

Granit von *Gurtnellen:*

Bruchkraft: $B = 7{,}10$ t; Biegungsfestigkeit: $\beta = \frac{M}{W} = \frac{266{,}3}{2960} = 0{,}090$ t/cm²

Abmessungen der Versuchsobjekte. Der Zweck der Arbeit forderte eine Übereinstimmung der Form und Abmessungen unseres Versuchsmaterials mit jenem, welches Prof. Dr. *Föppl* seiner Arbeit zu Grunde legte. Wir bestellten unser Material derart, dass nach der in der Anstalt ausgeführten Bearbeitung der Oberflächen, Probekörper mit ca. 170 cm Länge, 20 cm Breite und 30 cm Dicke resultierten. Die genauen Ausmasse der benützten Balken finden sich in nachstehenden Zusammenstellungen angegeben.

Adjustierung der Versuchsobjekte. Zunächst wurden die in roher Bearbeitung eingelieferten Steinbalken möglichst ebenflächig zugerichtet. Namentlich waren es die Lagerflächen, auf deren Parallelismus und Ebenflächigkeit besonderes Gewicht gelegt wurde.

Die zugerichteten Steinbalken wurden nun ausgemessen und trassiert. Symmetrisch zur mittleren Querschnittsebene wurden auf die Breitseiten der Steinbalken nach *Föppl's* Vorgang von der horizontalen Mittellinie (Nullschicht) ausgehend, auf- und abwärts in Abständen von ca. 4,5 cm Löcher von ca. 3 mm Weite und 4 mm Tiefe gebohrt und in diese die am freien Ende ca. 5 mm starken Stahlstifte eingetrieben, welche zur Aufnahme der *Bauschinger'*schen Spiegelapparate dienten. Gegen Lagenänderung waren diese Stahlstiften durch kleine Steinkittkegel gesichert. So wurden zunächst Stiftenreihen auf den Breitseiten, je 2 symmetrisch zur mittleren Querschnittsebene des Steinbalkens, hergestellt. Weil die Befürchtung vorlag, es könnten die Messresultate der mittleren Stiftenreihe durch den Kraftangriff nachteilig beeinflusst werden, wurde auf den Breitseiten der Balken je eine dritte Stiftenreihe angebracht, so dass es möglich war, Fall für Fall zwei Messungsreihen auszuführen, nämlich:

a. bei einem Kraftangriff auf die Balkenmitte und einer zur Balkenmitte symmetrischen Anordnung der Stiftenreihe; ferner

b. bei einem Kraftangriff auf die Balkenmitte und seitlich, in Abständen von bezw. 7,5 und 22,5 cm von der Balkenmitte angeordneten Stiftenreihen.

Maschinelle Einrichtungen. Zur Anwendung kam die bekannte vertikale 150 t-Presse, System Amsler-Laffon & Sohn; sie wurde mit einem Biegeapparte ausgerüstet, welcher gestattete, die Steinbalken hochkant, horizontal in die Maschine zu lagern und bei einer Freilage von 150 cm einem allmählich wachsenden, auf die Balkenbreite möglichst gleichmässig verteilten Drucke auszusetzen; vergl. Fig. 40 u. 41 auf Beilage zwischen Ste. 330/331. Lagerstühle und Angriffsscheide waren in jeder Hinsicht gleichartig gebaut. Sie bestanden aus einem 5,0 cm starken, 26,5 cm langen in einen gusseisernen Schuh gelagerten Stahlbolzen. Die Enden des gusseisernen Lagerschuhes waren mit 4 Stellschrauben versehen, so dass es möglich war der Axe des Stahlbolzens eine beliebige Neigung zu geben, also auch die oberste Erzeugende seiner cylindrischen Mantelfläche satt an die Breitseite des Steinbalkens anzulegen. Beilagen kamen nicht zur Anwendung. Um diese Bolzen konnte der belastete Steinbalken die an sich geringfügigen Tangentenänderungen seiner Endflächen ausführen. Einerseits

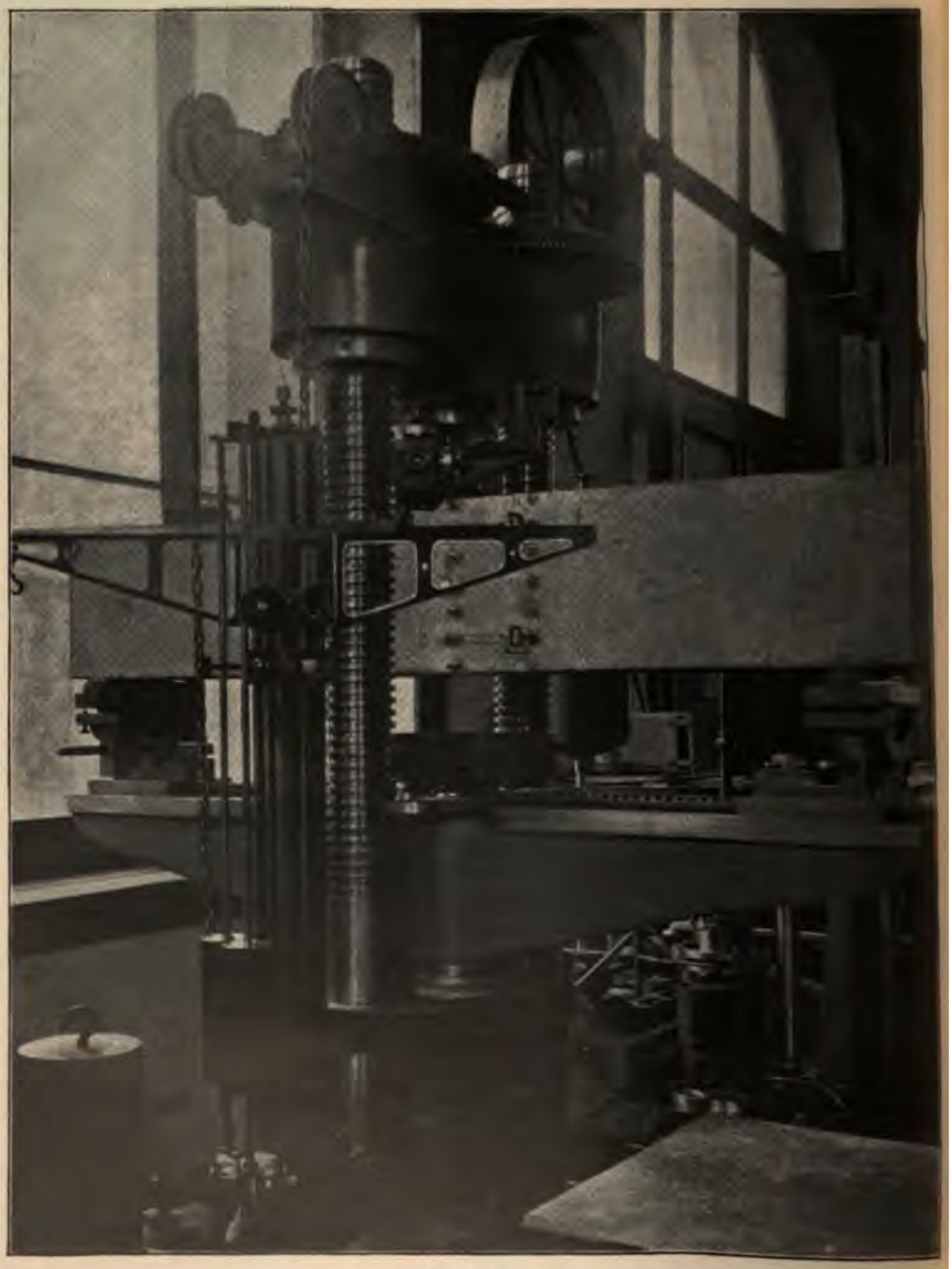


Fig. 40.

Fig. 41.

um die hierbei auftretenden Reibungswiderstände auf den Lagern thunlichst unschädlich zu machen, anderseits den Kraftangriff und die Reaktionen in die vertikale Symmetrieebene des Steinbalkens zu centrieren, wurden die Lagerschuhe auf Spitzenkörner gelagert, so dass beim Eintritt einer Verbiegung der Versuchskörper und bei gelösten Stellschrauben die Lagerschuhe eine pendelnde Bewegung auszuführen im Stande waren.

Mit der vorstehend beschriebenen Ausrüstung der Amsler-Presse war es möglich neben einer möglichst centrischen Inanspruchnahme des Steinbalkens, auch eine entsprechende Beweglichkeit der Lagerschneiden zu erreichen und die Einflüsse der Reibungswiderstände unschädlich zu machen. Nach einigen Vorversuchen, welche an all zu grosser Beweglichkeit der Lagerkonstruktion litten, gelangten wir füglich beim Einlegen der Versuchsobjekte in die Maschine zu folgendem Verfahren:

Mittelst eines Krahnens wurden die Steinbalken gehoben und auf die stählernen Lagerbolzen des Biegeappartes aufgelegt. Von diesen war mittelst der Stellschrauben der eine Lagerbolzen horizontal gestellt und fixiert, während der andere um die Spitzenkörner drehbar blieb, sich somit an die Lagerfläche des Steinbalkens anlegen konnte. Die Angriffsscheide, in einer vertikalen Schraubenführung hängend, konnte beliebig gehoben oder gesenkt werden; sie spielte drehbar um ihren Spitzenkörner, konnte sich somit Fall für Fall mit der ganzen Länge auf die obere Steinfläche ebenfalls satt anlegen. Der Biegeapparat mit der beschriebenen Ausrüstung funktionierte tadellos.

Zur Druckerzeugung ist der Amsler-Presse eine Pumpe beigegeben, auf deren Quecksilbermanometer eine hinreichend sichere Kraftablesung (schätzungsweise 0,01 t) möglich ist. Der Antrieb erfolgte vollkommen stossfrei von Hand, wodurch es auch glückte den zufolge Ölverlust der Presse eintretenden Rückgang der Belastung aufzuheben, den Druck also beliebig lange konstant zu halten.

Messverfahren. 4 Stück *Bauschinger'*sche Spiegelapparate wurden auf 4 von der horizontalen Schwerebene des Balkens gleich weit abstehende Stiften montiert, vergl. Fig. 42 sowie die Abbildungen auf Ste. 330/331, und zwar anfänglich das eine mal derart, dass die Richtung der Federanlagerung bei sämtlichen

Fig. 42.

Apparaten übereinstimmte — wir bezeichnen diese Federanlagerung in der Folge als die »*einstimmige*« — das andere mal wurde nach *Bauschinger*'s Vorgange die Richtung der Anlagerung der Blattfedern an die Messwellchen bei den Spiegelapparaten gleicher Höhenlage gegenstimmig, d. h. derart gewählt, dass während die eine der Blattfedern oben am Messwellchen ruhte und nach unten drückte, die gegenüberliegende unten angelagert erscheint und einen leichten Federdruck nach oben übte. Die letzt genannte Anordnung der Friktionsfedern soll in der Folge als die »*verschränkte*« bezeichnet werden. Erstere — also die einstimmige Federanordnung — liefert in den Mittelwerten der Ablesungen der Apparte gleicher Höhenlage Zahlen, die mit dem, aus der zufälligen Änderung der Höhenlage des Balkens fliessenden Fehler (± f) behaftet sind, also korrigiert werden mussten, während die verschränkte Federanordnung fehlerlose Mittelwerte liefert, denn da die Spiegelbewegungen entgegengesetzt gerichtet waren, trat bei der einen Spiegelablesung der fragliche Fehler additif, beim gegenüberliegenden mit entgegengesetztem Vorzeichen auf; durch das Mittelzeichen wurde der Fehler eliminiert.

Die Änderung der Höhenlage des Versuchsobjektes wurde einseitig, durch Feststellung der Änderung der Höhenlage der Schwerpunktsfaser in der Balkenmitte mittelst eines Kathetometers, welcher 0,001 mm abzulesen gestattet, beobachtet. Die Ablesungen wurden auf Skalenteile des *Bauschinger*'schen Spiegelapparates reduziert in Anschlag gebracht.

Die zur Durchführung der Arbeit erforderlich gewesenen *Bauschinger*'schen Spiegelapparate lieferte Herr Assistent Klebe in München; das Übersetzungsverhältnis derselben war zu 1 : 1000 gewählt, sodass auf den mm-Teilungen tragenden, senkrecht zur Visur gestellten Messlatten direkt 0,0001 cm, schätzungsweise: 0,00001 cm, abgelesen werden konnte. Das schliessliche Messverfahren war nun kurz folgendes:

Sobald die Spiegelapparate aufmontiert waren, wurde der Steinbalken zwischen den gewählten Belastungsgrenzen, d. i. zwischen Null und einer gewählten obern Belastung, so lange hin und her belastet, bis ein konstanter Zustand des Materials erreicht war, die bleibenden Formänderungen verschwanden, der Balken übereinstimmende elastische Formänderungen ergab. Als massgebendes Mittel wurde sodann das Mittel aus zwei aufeinanderfolgenden Messungen angesehen. In nachfolgenden tabellarischen Zusammenstellungen geben wir die beiden Ablesungen, sowie die aus diesen gewonnenen Mittelwerte.

Die Messung selbst wurde beim *Sandsteinbalken von Oggiono* sowohl mit *einstimmiger* als *verschränkter* Federstellung durchgeführt; aus Gründen der Zeitökonomie wurde später die weniger zuverlässige Messung mit einstimmiger Lage der Blattfedern des Bauschinger'schen Messapparates aufgegeben und die Arbeit mit *verschränkter* Federanordnung zu Ende geführt.

Da trotz aller Sorgfalt der Arbeit eine konstante Stiftenentfernung (von angenommen 15 cm) nicht zu erreichen war, wurden die Stiftenabstände sämtlicher Steinbalken eingemessen, und die gewonnenen Mittel der Verkürzung bezw. der Verlängerung der Fasern auf die Längeneinheit (auf 1,0 cm) reduziert.

Korrekturen der Skalenablesungen, ihre Reduktion auf die Bogen durften aus Gründen der absoluten Grössenwerte dieser Ablesungen unterbleiben; ebenso blieb der Einfluss der Differenz aus Bogen- und Sehnenlänge bei Messung der elastischen Längenänderungen der Fasern unberücksichtigt.

Resultate der Messungen.

1. Versuchsreihe. *1. Versuchsreihe.*

Sandsteinbalken von Oggiono.

Kraftangriff: auf die Balkenmitte; **Stiftenanordnung:** symmetrisch zur Balkenmitte.

Mittlere Stiftenabstände von der obern oder gedrückten Balkenseite:

No. der Stiften.		Diff.	No. der Stiften.		Diff.
7—7	1,47 cm		11—11	1,56 cm	
		4,49 cm			4,47 cm
6—6	5,96 »		12—12	6,03 »	
		4,52 »			4,47 »
5—5	10,48 »		13—13	10,50 »	
		4,48 »			4,47 »
4—4	14,96 »		14—14	14,97 »	
		4,52 »			4,50 »
3—3	19,48 »		15—15	19,47 »	
		4,52 »			4,47 »
2—2	24,00 »		16—16	23,94 »	
		4,48 »			4,42 »
1—1	28,48 »		17—17	28,36 »	
		1,45 »			1,59 »
Balkenhöhe:	29,93 »		*Balkenhöhe:*	29,95 »	

Balkenbreite: 20,0 cm.

Mittlere Längen der Messstrecken:

Messstrecken No.	Bezeichnung der Messstrecken	Länge der Messstrecken
7—7 und 11—11	7—11	15,00 cm
6 6 » 12—12	6—12	14,98 »
5—5 » 13—13	5—13	15,02 »
4—4 » 14—14	4—14	14,99 »
3—3 » 15—15	3—15	14,99 »
2 - 2 » 16—16	2—16	14,98 »
1—1 » 17—17	1—17	15,00 »

	Federanlage: *einstimmig.*			Federanlage: *verschränkt.*		
	Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.					
Stift No.	Ablesung **rechts**	**links**	**Mittel**	Ablesung **rechts**	**links**	**Mittel**
1–17	0,00192 cm	0,00225 cm	0,00209 cm	0,00217 cm	0,00221 cm	0,00219 cm
	Korrektur		0 0,00209 cm			—
	0,00198 cm	0,00229 cm	0,00214 cm	0,00222 cm	0,00228 cm	0,00225 cm
	Korrektur		0 0,00214 cm			—
	Durchschnitt: 0,00212 cm			Durchschnitt: 0,00222 cm		
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000141 cm.			Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000148 cm.		

Stift No.	Federanlage: *einstimmig.* Ablesung rechts	links	Mittel		Federanlage: *verschränkt.* Ablesung rechts	links	Mittel	
	Belastungs-Intervall: 0,0—10,0 t.							
1–17	0,00496 cm	0,00540 cm	0,00518 cm		0,00556 cm	0,00513 cm	0,00544 cm	
		Korrektur	2	0,00516 cm			—	
	0,00491 cm	0,00537 cm	0,00514 cm		0,00544 cm	0,00533 cm	0,00539 cm	
		Korrektur	2	0,00512 cm			—	
			Durchschnitt:	0,00514 cm			Durchschnitt:	0,00542 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000343 cm.				Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000361 cm.			
	Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.							
7–11	0,00237 cm	0,00243 cm	0,00240 cm		0,00214 cm	0,00240 cm	0,00227 cm	
		Korrektur	0	0,00240 cm			—	
	0,00243 cm	0,00247 cm	0,00245 cm		0,00212 cm	0,00239 cm	0,00226 cm	
		Korrektur	0	0,00245 cm			—	
			Durchschnitt:	0,00243 cm			Durchschnitt:	0,00227 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000162 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000151 cm.			
	Belastungs-Intervall: 0,0—10,0 t.							
7–11	0,00551 cm	0,00548 cm	0,00550 cm		0,00490 cm	0,00558 cm	0,00524 cm	
		Korrektur	2	0,00552 cm			—	
	0,00549 cm	0,00542 cm	0,00550 cm		0,00486 cm	0,00539 cm	0,00513 cm	
		Korrektur	2	0,00548 cm			—	
			Durchschnitt:	0,00550 cm			Durchschnitt:	0,00519 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000360 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000346 cm.			
	Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.							
2–16	0,00176 cm	0,00169 cm	0,00173 cm		0,00160 cm	0,00169 cm	0,00165 cm	
		Korrektur	0	0,00173 cm			—	
	0,00149 cm	0,00170 cm	0,00160 cm		0,00148 cm	0,00170 cm	0,00159 cm	
		Korrektur	2	0,00158 cm			—	
			Durchschnitt:	0,00166 cm			Durchschnitt:	0,00162 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000111 cm.				Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000108 cm.			

Stift No.	Federanlage: *einstimmig.* Ablesung rechts	links	Mittel		Federanlage: *verschränkt.* Ablesung rechts	links	Mittel	
Belastungs-Intervall: 0,0—10,0 t.								
2–16	0,00388 cm	0,00398 cm	0,00393 cm		0,00384 cm	0,00399 cm	0,00392 cm	
		Korrektur	0	0,00393 cm			—	
	0,00367 cm	0,00400 cm	0,00384 cm		0,00388 cm	0,00400 cm	0,00394 cm	
		Korrektur	4	0,00380 cm			—	
			Durchschnitt:	0,00387 cm			Durchschnitt:	0,00393 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000258 cm.				Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000263 cm.			
Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.								
6–12	0,00163 cm	0,00141 cm	0,00152 cm		0,00138 cm	0,00131 cm	0,00135 cm	
		Korrektur	0	0,00152 cm			—	
	0,00163 cm	0,00136 cm	0,00150 cm		0,00135 cm	0,00131 cm	0,00133 cm	
		Korrektur	2	0,00148 cm			—	
			Durchschnitt:	0,00150 cm			Durchschnitt:	0,00134 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000102 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000089 cm.			
Belastungs-Intervall: 0,0—10,0 t.								
6–12	0,00352 cm	0,00310 cm	0,00331 cm		0,00298 cm	0,00300 cm	0,00299 cm	
		Korrektur	0	0,00331 cm			—	
	0,00367 cm	0,00300 cm	0,00334 cm		0,00296 cm	0,00300 cm	0,00298 cm	
		Korrektur	4	0,00330 cm			—	
			Durchschnitt:	0,00331 cm			Durchschnitt:	0,00299 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000221 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000200 cm.			

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Ablesung rechts	links	Mittel		Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Ablesung rechts	links	Mittel	
	Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.					**Belastungs-Intervall: 0,0—10,0 t.**			
3–15	0,00067 cm	0,00094 cm	0,00081 cm		3–15	0,00165 cm	0,00212 cm	0,00189 cm	
	67 »	90 »	79 »			172 »	207 »	190 »	
			Durchschnitt:	0,00080 cm				Durchschnitt:	0,00190 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000053 cm.					Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000127 cm.			

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0–5,0 t.			Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—10,0 t.		
	Ablesung				Ablesung		
	rechts	links	Mittel		rechts	links	Mittel
5–13	0,00050 cm	0,00050 cm	0,00050 cm	5–13	0,00102 cm	0,00111 cm	0,00107 cm
	52 »	60 »	49 »		101 »	104 »	103 »
	Durchschnitt:		0,00050 cm		Durchschnitt:		0,00105 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000033 cm.		Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000069 cm.
4–14	0,00011 cm	0,00019 cm	0,00015 cm	4–14	0,00046 cm	0,00045 cm	0,00046 cm
	11 »	19 »	15 »		47 »	42 »	44 »
	Durchschnitt:		0,00015 cm		Durchschnitt:		0,00045 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000010 cm.		Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000031 cm.
	Kontrolle mit vertauschten Apparaten.						
4–14	0,00011 cm	0,00018 cm	0,00015 cm (Zug)	4–14	0,00043 cm	0,00046 cm	0,00045 cm (Zug)

2. Versuchsreihe. *2. Versuchsreihe.*

Sandsteinbalken von Oggiono.

Kraftangriff: auf die Balkenmitte; **Stiftenanordnung:** seitlich der Balkenmitte.

Abstände der Stiftenreihen von der Balkenmitte: 7,5 bezw. 22,5 cm.

Mittlere Stiftenabstände von der oberen oder gedrückten Balkenseite:

No. der Stiften.		Diff.	No. der Stiften.		Diff.
7—7	1,48 cm		11—11	1,52 cm	
		4,49 cm			4,50 cm
6—6	5,97 »		12—12	6,02 »	
		4,50 »			4,46 »
5—5	10,47 »		13—13	10,48 »	
		4,48 »			4,50 »
4—4	14,95 »		14—14	14,98 »	
		4,51 »			4,51 »
3—3	19,46 »		15—15	19,49 »	
		4,46 »			4,45 »
2—2	23,92 »		16—16	23,94 »	
		4,49 »			4,50 »
1—1	28,41 »		17—17	28,44 »	
		1,51 »			1,54 »
Balkenhöhe:	29,92 »		*Balkenhöhe:*	29,98 »	

Balkenbreite: 20,0 cm.

Mittlere Längen der Messstrecken:

Messstrecken No.	Bezeichnung der Messstrecken	Länge der Messstrecken
7—7 und 11—11	7—11	14,98 cm
6—6 » 12—12	6—12	15,00 »
5—5 » 13—13	5—13	14,96 »
4—4 » 14—14	4—14	14,96 »
3—3 » 15—15	3—15	15,00 »
2—2 » 16—16	2—16	14,98 »
1—1 » 17—17	1—17	14,94 »

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* **Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.** Ablesung rechts	links	Mittel	Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* **Belastungs-Intervall: 0,0—10,0 t.** Ablesung rechts	links	Mittel
1–17	0,00164 cm	0,00200 cm	0,00182 cm	1–17	0,00388 cm	0,00471 cm	0,00430 cm
	160 »	198 »	179 »		389 »	477 »	433 »
	Durchschnitt: 0,00181 cm				Durchschnitt: 0,00432 cm		
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000121 cm.				Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000289 cm.		
7–11	0,00182 cm	0,00163 cm	0,00173 cm	7–11	0,00413 cm	0,00356 cm	0,00385 cm
	188 »	162 »	175 »		417 »	359 »	388 »
	Durchschnitt: 0,00174 cm				Durchschnitt: 0,00387 cm		
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000116 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000268 cm.		
2–16	0,00114 cm	0,00140 cm	0,00127 cm	2–16	0,00270 cm	0,00324 cm	0,00297 cm
	110 »	138 »	124 »		269 »	321 »	290 »
	Durchschnitt: 0,00126 cm				Durchschnitt: 0,00294 cm		
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000084 cm.				Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000196 cm.		
6–12	0,00129 cm	0,00102 cm	0,00116 cm	6–12	0,00279 cm	0,00224 cm	0,00252 cm
	130 »	102 »	116 »		281 »	225 »	253 »
	Durchschnitt: 0,00116 cm				Durchschnitt: 0,00253 cm		
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000077 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000169 cm.		

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t. Ablesung rechts	links	Mittel	Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—10,0 t. Ablesung rechts	links	Mittel
3-15	0,00053 cm	0,00087 cm	0,00070 cm	3-15	0,00131 cm	0,00202 cm	0,00167 cm
	53 »	87 »	70 »		132 »	202 »	167 »
	Durchschnitt:		0,00070 cm		Durchschnitt:		0,00167 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000047 cm.		Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000111 cm.
5-13	0,00061 cm	0,00050 cm	0,00056 cm	5-13	0,00130 cm	0,00106 cm	0,00118 cm
	62 »	50 »	56 »		132 »	107 »	120 »
	Durchschnitt:		0,00056 cm		Durchschnitt:		0,00119 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000037 cm.		Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000080 cm.
4-14	0,00014 cm	0,00007 cm	0,00011 cm	4-14	0,00034 cm	0,00001 cm	0,00018 cm
	14 »	3 »	9 »		32 »	1 »	17 »
	Durchschnitt:		0,00010 cm		Durchschnitt:		0,00018 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000007 cm.		Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000012 cm.

1. Versuchsreihe. *1. Versuchsreihe.*

Granitbalken von Baveno.

Kraftangriff: auf die Balkenmitte; **Stiftenanordnung:** symmetrisch zur Balkenmitte.
Federanlage: verschränkt.

Mittlere Stiftenabstände von der oberen oder gedrückten Balkenseite:

No. der Stiften.		Diff.	No. der Stiften.		Diff.
7—7	1,50 cm		11—11	1,61 cm	
		4,56 cm			4,48 cm
6—6	6,06 »		12—12	6,09 »	
		4,53 »			4,51 »
5—5	10,59 »		13—13	10,60 »	
		4,51 »			4,49 »
4—4	15,10 »		14—14	15,09 »	
		4,58 »			4,51 »
3—3	19,68 »		15—15	19,60 »	
		4,52 »			4,49 »
2—2	24,20 »		16—16	24,09 »	
		4,53 »			4,55 »
1—1	28,73 »		17—17	28,64 »	
		1,49 »			1,62 »
Balkenhöhe:	30,22 »		*Balkenhöhe:*	30,26 »	

Balkenbreite: 20,0 cm.

Mittlere Längen der Messstrecken:

Messstrecken No.	Bezeichnung der Messstrecken	Länge der Messstrecken
7—7 und 11—11	7 11	15,00 cm
6—6 » 12—12	6—12	15,04 »
5—5 » 13—13	5—13	15,05 »
4—4 » 14—14	4—14	15,07 »
3—3 » 15—15	3—15	15,03 »
2—2 » 16—16	2—16	15,07 »
1—1 » 17—17	1—17	15,04 »

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* **Belastungs-Intervall: 0,0—2,5 t.** Ablesung rechts	links	Mittel
1–17	0,00208 cm	0,00230 cm	0,00219 cm
	208 »	233 »	221 »
	Durchschnitt:		0,00220 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000146 cm.
7–11	0,00155 cm	0,00170 cm	0,00163 cm
	156 »	169 »	163 »
	Durchschnitt:		0,00163 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000109 cm.
2–16	0,00134 cm	0,00120 cm	0,00127 cm
	126 »	119 »	123 »
	Durchschnitt:		0,00125 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000083 cm.
6–12	0,00096 cm	0,00093 cm	0,00095 cm
	90 »	92 »	91 »
	Durchschnitt:		0,00093 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000062 cm.

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* **Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.** Ablesung rechts	links	Mittel
1–17	0,00479 cm	0,00570 cm	0,00525 cm
	470 »	564 »	517 »
	Durchschnitt:		0,00521 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000346 cm.
7–11	0,00324 cm	0,00341 cm	0,00333 cm
	322 »	339 »	331 »
	Durchschnitt:		0,00332 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000221 cm.
2–16	0,00297 cm	0,00282 cm	0,00290 cm
	296 »	280 »	288 »
	Durchschnitt:		0,00289 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000192 cm.
6–12	0,00178 cm	0,00180 cm	0,00179 cm
	179 »	180 »	179 »
	Durchschnitt:		0,00179 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000119 cm.

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—2,5 t. Ablesung rechts	links	Mittel	Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t. Ablesung rechts	links	Mittel
3–15	0,00069 cm	0,00077 cm	0,00073 cm	3–15	0,00164 cm	0,00191 cm	0,00176 cm
	64 »	76 »	70 »		161 »	189 »	175 »
	Durchschnitt: 0,00072 cm				Durchschnitt: 0,00176 cm		
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000048 cm.				Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000117 cm.		
5–13	0,00033 cm	0,00030 cm	0,00032 cm	5–13	0,00061 cm	0,00050 cm	0,00055 cm
	37 »	30 »	34 »		60 »	50 »	56 »
	Durchschnitt: 0,00033 cm				Durchschnitt: 0,00056 cm		
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000022 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000037 cm.		
4–14	0,00015 cm	0,00019 cm	0,00017 cm	4–14	0,00055 cm	0,00059 cm	0,00057 cm
	15 »	19 »	17 »		57 »	59 »	58 »
	Durchschnitt: 0,00017 cm				Durchschnitt: 0,00058 cm		
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000011 cm.				Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000038 cm.		

2. Versuchsreihe. *2. Versuchsreihe.*

Granitbalken von Baveno.

Kraftangriff: auf die Balkenmitte; **Stiftenanordnung:** seitlich der Balkenmitte.
Abstände der Stiftenreihen von der Balkenmitte: 7,5 bezw. 22,5 cm.
Federanlage: verschränkt.

Mittlere Stiftenabstände von der obern oder gedrückten Balkenseite:

No. der Stiften.		Diff.	No. der Stiften.		Diff.
7—7	1,50 cm		11—11	1,56 cm	
		4,53 cm			4,48 cm
6—6	6,03 »		12—12	6,04 »	
		4,51 »			4,55 »
5—5	10,54 »		13—13	10,59 »	
		4,55 »			4,52 »
4—4	15,09 »		14—14	15,11 »	
		4,58 »			4,51 »
3—3	19,67 »		15—15	19,62 »	
		4,55 »			4,52 »
2—2	24,22 »		16—16	24,14 »	
		4,55 »			4,51 »
1—1	28,77 »		17—17	28,65 »	
		1,49 »			1,59 »
Balkenhöhe:	30,26 »		*Balkenhöhe:*	30,24 »	

Balkenbreite: 20,0 cm.

Mittlere Längen der Messstrecken.

Messstrecken No.	Bezeichnung der Messstrecken	Länge der Messstrecken
7—7 und 11—11	7—11	15,01 cm
6—6 » 12—12	6—12	15,04 »
5—5 » 13—13	5—13	14,96 »
4—4 » 14—14	4—14	14,97 »
3—3 » 15—15	3—15	14,95 »
2—2 » 16—16	2—16	14,95 »
1—1 » 17—17	1—17	14,91 »

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—2,5 t. Ablesung rechts	links	Mittel
1–17	0,00145 cm	0,00159 cm	0,00152 cm
	151 »	160 »	156 »
	Durchschnitt:		0,00154 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000103 cm.
7–11	0,00138 cm	0,00131 cm	0,00135 cm
	139 »	135 »	137 »
	Durchschnitt:		0,00136 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000091 cm
2–16	0,00108 cm	0,00110 cm	0,00109 cm
	109 »	110 »	110 »
	Durchschnitt:		0,00110 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000074 cm.
6–12	0,00099 cm	0,00095 cm	0,00097 cm
	98 »	99 »	99 »
	Durchschnitt:		0,00098 »
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000065 cm.

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t. Ablesung rechts	links	Mittel
1–17	0,00360 cm	0,00395 cm	0,00378 cm
	364 »	392 »	378 »
	Durchschnitt:		0,00378 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000253 cm.
7–11	0,00284 cm	0,00274 cm	0,00279 cm
	282 »	276 »	279 »
	Durchschnitt:		0,00279 »
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000186 cm.
2–16	0,00258 cm	0,00249 cm	0,00254 cm
	254 »	248 »	251 »
	Durchschnitt:		0,00253 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000169 cm.
6–12	0,00196 cm	0,00191 cm	0,00194 cm
	192 »	190 »	191 »
	Durchschnitt:		0,00193 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000128 cm.

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—2,5 t. Ablesung rechts	links	Mittel	Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t. Ablesung rechts	links	Mittel
3–15	0,00058 cm	0,00059 cm	0,00059 cm	3–15	0,00139 cm	0,00141 cm	0,00140 cm
	58 »	61 »	60 »		139 »	140 »	140 »
	Durchschnitt: 0,00059 cm				Durchschnitt: 0,00140 cm		
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000039 cm.				Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000094 cm.		
5–13	0,00040 cm	0,00030 cm	0,00035 cm	5–13	0,00074 cm	0,00058 cm	0,00066 cm
	42 »	29 »	36 »		74 »	58 »	66 »
	Durchschnitt: 0,00036 cm				Durchschnitt: 0,00066 cm		
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000024 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000044 cm.		
4–14	0,00005 cm	0,00008 cm	0,00007 cm	4–14	0,00024 cm	0,00030 cm	0,00027 cm
	5 »	10 »	7 »		24 »	31 »	28 »
	Durchschnitt: 0,00007 cm				Durchschnitt: 0,00028 cm		
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000005 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000019 cm.		

1. Versuchsreihe. *1. Versuchsreihe.*

Granitbalken von Gurtnellen.

Kraftangriff: auf die Balkenmitte; **Stiftenanordnung:** symmetrisch zur Balkenmitte.

Federanlage: verschränkt.

Mittlere Stiftenabstände von der obern oder gedrückten Balkenseite:

No. der Stiften.		Diff.	No. der Stiften.		Diff.
7—7	1,51 cm		11—11	1,63 cm	
		4,52 cm			4,44 cm
6—6	6,03 »		12—12	6,07 »	
		4,49 »			4,42 »
5—5	10,52 »		13—13	10,49 »	
		4,53 »			4,48 »
4—4	15,05 »		14—14	14,97 »	
		4,41 »			4,46 »
3—3	19,46 »		15—15	19,43 »	
		4,53 »			4,35 »
2—2	23,99 »		16—16	23,78 »	
		4,44 »			4,43 »
1—1	28,43 »		17—17	28,21 »	
		1,57 »			1,70 »
Balkenhöhe:	30,00 »		*Balkenhöhe:*	29,91 »	

Balkenbreite: 20,1 cm.

Mittlere Längen der Messstrecken:

Messstrecken No.	Bezeichnung der Messstrecken	Länge der Messstrecken
7—7 und 11—11	7—11	14,96 cm
6—6 » 12—12	6—12	14,96 »
5—5 » 13—13	5—13	15,00 »
4—4 » 14—14	4—14	15,01 »
3—3 » 15—15	3—15	14,97 »
2—2 » 16—16	2- 16	15,00 »
1—1 » 17—17	1—17	15,02 »

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* **Belastungs-Intervall: 0,0—2,5 t.** Ablesung rechts	links	Mittel	Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* **Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.** Ablesung rechts	links	Mittel
1–17	0,00262 cm	0,00200 cm	0,00231 cm	1–17	0,00625 cm	0,00486 cm	0,00556 cm
	268 »	203 »	236 »		621 »	489 »	555 »
	Durchschnitt: 0,00234 cm				Durchschnitt: 0,00556 cm		
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000156 cm.				Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000370 cm.		
7–11	0,00222 cm	0,00249 cm	0,00235 cm	7–11	0,00451 cm	0,00489 cm	0,00470 cm
	222 »	255 »	239 »		452 »	498 »	476 »
	Durchschnitt: 0,00237 cm				Durchschnitt: 0,00473 cm		
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000158 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000316 cm.		
2–16	0,00180 cm	0,00147 cm	0,00164 cm	2–16	0,00419 cm	0,00359 cm	0,00389 cm
	173 »	150 »	167 »		423 »	361 »	392 »
	Durchschnitt: 0,00165 cm				Durchschnitt: 0,00391 cm		
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000110 cm.				Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000261 cm.		
6–12	0,00121 cm	0,00137 cm	0,00129 cm	6–12	0,00242 cm	0,00261 cm	0,00252 cm
	120 »	136 »	128 »		242 »	266 »	254 »
	Durchschnitt: 0,00129 cm				Durchschnitt: 0,00253 cm		
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000086 cm.				Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge: 0,000169 cm.		

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—2,5 t.			Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.		
	Ablesung				Ablesung		
	rechts	links	Mittel		rechts	links	Mittel
3–15	0,00086 cm	0,00070 cm	0,00078 cm	3–15	0,00206 cm	0,00171 cm	0,00189 cm
	83 »	70 »	77 »		206 »	169 »	188 »
	Durchschnitt:		0,00077 cm		Durchschnitt:		0,00188 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000051 cm.		Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000126 cm.
5–13	0,00043 cm	0,00062 cm	0,00053 cm	5–13	0,00078 cm	0,00109 cm	0,00094 cm
	43 »	60 »	52 »		77 »	108 »	93 »
	Durchschnitt:		0,00052 cm		Durchschnitt:		0,00093 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000035 cm.		Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000062 cm.
4–14	0,00023 cm	0,00009 cm	0,00016 cm	4–14	0,00073 cm	0,00039 cm	0,00056 cm
	24 »	10 »	17 »		72 »	38 »	55 »
	Durchschnitt:		0,00017 cm		Durchschnitt:		0,00056 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000011 cm		Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000037 cm

2. Versuchsreihe. *2. Versuchsreihe.*

Granitbalken von Gurtnellen.

Kraftangriff: auf die Balkenmitte; **Stiftenanordnung:** seitlich der Balkenmitte.

Abstände der Stiftenreihen von der Balkenmitte: 7,5 bezw. 22,5 cm.

Federanlage: verschränkt.

No. der Stiften.		Diff.	No. der Stiften.		Diff.
7—7	1,54 cm		11—11	1,65 cm	
		4,45 cm			4,45 cm
6—6	5,99 »		12—12	6,10 »	
		4,46 »			4,43 »
5—5	10,45 »		13—13	10,53 »	
		4,53 »			4,47 »
4—4	14,98 »		14—14	15,00 »	
		4,51 »			4,44 »
3—3	19,49 »		15—15	19,44 »	
		4,45 »			4,40 »
2—2	23,94 »		16—16	23,84 »	
		4,47 »			4,41 »
1—1	28,41 »		17—17	28,25 »	
		1,57 »			1,61 »
Balkenhöhe:	29,98 »		*Balkenhöhe:*	29,86 »	

Balkenbreite: 20,1 cm.

Mittlere Längen der Messstrecken:

Messstrecken No.	Bezeichnung der Messstrecken	Länge der Messstrecken
7—7 und 11—11	7—11	15,00 cm
6 6 » 12—12	6—12	14,96 »
5—5 » 13—13	5—13	14,93 »
4—4 » 14—14	4—14	14,94 »
3—3 » 15—15	3—15	15,00 »
2—2 » 16—16	2—16	14,97 »
1—1 » 17—17	1—17	14,98 »

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—2,5 t.			Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.		
	Ablesung rechts	links	Mittel		Ablesung rechts	links	Mittel
1–17	0,00177 cm	0,00190 cm	0,00184 cm	1–17	0,00379 cm	0,00449 cm	0,00414 cm
	171 »	192 »	182 »		375 »	455 »	415 »
	Durchschnitt:		0,00183 cm		Durchschnitt:		0,00415 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000122 cm.		Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000277 cm.
7–11	0,00193 cm	0,00178 cm	0,00186 cm	7–11	0,00422 cm	0,00357 cm	0,00389 cm
	197 »	175 »	186 »		428 »	356 »	392 »
	Durchschnitt:		0,00186 cm		Durchschnitt:		0,00391 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000124 cm.		Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000261 cm
2–16	0,00115 cm	0,00131 cm	0,00123 cm	2–16	0,00256 cm	0,00301 cm	0,00279 cm
	112 »	131 »	122 »		252 »	300 »	276 »
	Durchschnitt:		0,00122 cm		Durchschnitt:		0,00277 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000082 cm.		Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000185 cm.
6–12	0,00110 cm	0,00121 cm	0,00116 cm	6–12	0,00239 cm	0,00236 cm	0,00238 cm
	112 »	121 »	116 »		237 »	237 »	237 »
	Durchschnitt:		0,00116 cm		Durchschnitt:		0,00237 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000078 cm.		Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000158 cm.

Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—2,5 t.			Stift No.	Federanlage: *verschränkt.* Belastungs-Intervall: 0,0—5,0 t.		
	Ablesung				Ablesung		
	rechts	links	Mittel		rechts	links	Mittel
3–15	0,00066 cm	0,00064 cm	0,00065 cm	3–15	0,00147 cm	0,00154 cm	0,00151 cm
	62 »	62 »	62 »		145 »	152 »	149 »
	Durchschnitt:		0,00063 cm		Durchschnitt:		0,00150 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000042 cm.		Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000100 cm.
5–13	0,00051 cm	0,00060 cm	0,00056 cm	5–13	0,00105 cm	0,00110 cm	0,00108 cm
	53 »	60 »	56 »		103 »	110 »	107 »
	Durchschnitt:		0,00056 cm		Durchschnitt:		0,00107 cm
	Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000037 cm.		Faserverkürzung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000072 cm.
4–14	0,00010 cm	0,00014 cm	0,00012 cm	4–14	0,00030 cm	0,00038 cm	0,00034 cm
	(Balken gebrochen)		—		(Balken gebrochen)		—
	Durchschnitt:		0,00012 cm		Durchschnitt:		0,00034 cm
	Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000008 cm.		Faserverlängerung pro 1,0 cm Messlänge:		0,000023 cm.

Vorstehende Versuchsresultate lassen sich etwa wie folgt in Worte kleiden:

1. Die ausgeführten Versuche sind sowohl was die Materialauslese als die Anzahl der Versuche für eine bestimmte Materialsorte betrifft, zur Gewinnung eines abschliessenden Urteils in Hinsicht auf die Form der Querschnittsfläche deformierter, auf Biegung beanspruchter Steinbalken unzulänglich.

2. Die gewonnenen Versuchsresultate bestätigen die Eingangs ausgesprochene Vermutung, es möchten die Messungen der Längenänderungen der Fasern unter der Kraftangriffsstelle (Stiftenanordnung symmetrisch zur Balkenmitte) *nachteilig beeinflusst sein, das Gesetz der Formänderung der Elemente gebogener Steinbalken nicht ungetrübt zum Ausdrucke bringen.*

3. Im Grossen und Ganzen bestätigen unsere Versuche Prof. Dr. Föppls Befund, welcher bereits darauf hingewiesen hat,

dass die Querschnittsflächen der Elemente gebogener Steinbalken seitlich der Stelle des Kraftangriffs, für den konstanten Zustand zwar nicht ebenflächig sind, dass aber ihre Abweichungen von der Ebene keineswegs so erheblich sei, als erwartet und ursprünglich angenommen war.

4. Die Versuche bestätigen weiter, dass die Nullfaser gebogener Steinbalken eine Verschiebung nach der gedrückten Seite erfahren. Die Grösse der Verschiebung wechselt mit dem Materiale, seiner Belastung und der Lage der Querschnittsfläche. So fanden wir die Verschiebung der Nullfaser:

für *Belastungen* zwischen:	0,0–2,5 t	0,0–5,0 t	0,0–10,0 t	
beim *Sandsteinbalken von Oggiono:*				
für das mittlere Balkenelement v. ca. 15 cm Länge:	—	3,51%	5,11%	d. Balkenhöhe
» » benachbarte » » » 15 » » :	—	1,80 »	1,80 »	»
beim *Granitbalken von Baveno:*				
für das mittlere Balkenelement v. ca. 15 cm Länge:	5,66%	7,38%	—	d. Balkenhöhe
» » benachbarte » » » 15 » » :	1,91 »	4,26 »	—	»
beim *Granitbalken von Gurtnellen:*				
für das mittlere Balkenelement v. ca. 15 cm Länge:	3,97%	5,93%	—	d. Balkenhöhe
» » benachbarte » » » 15 » » :	3,54 »	3,71 »	—	»

XII. Klassifikation der natürlichen Bauwerksteine.

Kategorie A: Bausteine.

Hierher gehören die *Bruchsteine;* die rauhen und reinen *Spitzsteine;* die rauhen und reinen *Quader;* ferner die *Formsteine* in unterschiedlichen Bearbeitungsarten. Wir unterscheiden:

I-klassige Bausteine

ohne Wassersaugvermögen; frost- und wetterbeständig; nicht spaltbar; hart und wechselnzähe, daher im allgemeinen schwer zu bearbeiten. Stichfrei; polierbar.

Minim. *Druckfestigkeit:* 2500 kg/cm².

Aus der Gruppe der *Silikatgesteine* gehören hierher:

der pyritfreie *Granit* in den glimmerärmern Spezies; der pyritfreie *Syenit* und die *Diorite;* einzelne *Gabro-* und *Serpentin*sorten; die pyritfreien *Granit-, Syenit-, Dioritporphyre*; der *Quarzporphyr,* der *Basalt* u. a. m.

II-klassige Bausteine

ohne Wassersaugvermögen; frostbeständig. Wechselnd wetterfest. Einzelne Spezies durch die atmosphärischen Säuren angreifbar; vorwiegend hart und wechselnd zähe, daher relativ schwer zu bearbeiten. Stichfrei; einzelne Spezies spaltbar; vorwiegend gut polierbar.

Minim. *Druckfestigkeit:* 1250 kg/cm².

Hierher gehören aus der Gruppe der *Silikatgesteine:*

der *Granit;* der *Syenit;* die *Diorite;* die *Gabrosorten;* die *Serpentine;* der *Granit-, Syenit-, Diorit*porphyr; der *Diabas;* die *Augitporphyre* u. a. m.;

aus der Gruppe der *Trümmergesteine:*

die dichten kompakten *Kalkquarzite;* die dichten, feinkörnigen *Quarz-* und *Kalksandsteine;* die *Quarzkonglomerate,* sowie einzelne Sorten der dichten, feinkörnigen *Nagelfluh* und der Breccien; der dichte *Kalkthonschiefer* u. a. m.;

aus der Gruppe der *Kalkgesteine:*

die nicht geaderten *Marmore* und dichten, stichfreien *Kalksteine, Echinodermenbreccien, Nummulitenkalke; oolithische Kalksteine* u. a m.

III-klassige Bausteine

mit geringem Wassersaugvermögen, doch ohne Erweichungsfähigkeit im Wasser; frostbeständig; wechselnd wetterfest. Einzelne Spezies durch die atmosphärischen Säuren angreifbar; mässig hart; wechseln zähe, oft muschlig brechend; meist relativ schwer zu bearbeiten; stichfrei; blos in einzelnen Spezies spaltbar und polierbar.

Minim. *Druckfestigkeit:* 800 kg/cm².

Hierher gehören aus der Gruppe der *Silikatgesteine:*

die weichern *Serpentin-Spezies;* die *porösen Liparite* (Quarztrachyte); die gemeinen oder *quarzfreien Porphyre;* die *Trachyte;* ferner die krystallinischen *Schiefer,* der *Gneiss*; der *Glimmerschiefer,* der *Urthonschiefer,* der *Quarzitschiefer* u. a. m.;

aus der Gruppe der *Trümmergesteine:*

die dichten, mittel- bis feinkörnigen *Kalk-* und *Quarzsandsteine;* die dichte, grobkörnige *Nagelfluh* und einzelne Brecciensorten;

aus der Gruppe der *Kalksteine:*

die grosse Masse *geaderter Marmore* und dichter *Kalksteine* mit muscheligem Bruch.

IV-klassige Bausteine

mit ausgesprochenem Wassersaugvermögen und Erweichungsfähigkeit in Wasser; frostfest, doch wechselnd wetterbeständig; einzelne Spezies durch atmosphärische Säuren angreifbar; ziemlich hart; vorwiegend gut zu bearbeiten; stichfrei, in der Regel nicht spaltbar und nicht polierfähig.

Druckfestigkeit: $>$ 400 kg/cm².
Erweichungs-Koeffizient: $<$ 1,5.

Hierher gehören: Einige Sorten der erdig-körnigen Kalksteine; ferner poröse Kalk- und Quarz-Sandsteine mit kalkigem oder kieseligem Bindemittel; Breccien und Konglomerate.

V-klassige Bausteine

porös, oft grossluckig; mit Wassersaugvermögen und relativ geringer Erweichungsfähigkeit in Wasser; frostfest, doch mit wechselnder Wetterbeständigkeit. Einzelne Spezies sind durch

atmosphärische Säuren angreifbar; meist säg- und drehbar, gut zu bearbeiten. Nicht spaltbar; nicht polierfähig.

Druckfestigkeit: < 400 kg/cm².
Erweichungskoeffizient: < 1,5.

Hierher gehören die unterschiedlichen Tuffgesteine, die vulkanischen und sedimentären Tuffe; die Liparit-Tuffe (Bimstein); Trachyt-Tuffe, Kalk-Tuffe u. d. m.

VI-klassige Bausteine

mit ausgesprochenem Wassersaugvermögen und Erweichungsfähigkeit in Wasser; weder frostfest noch wetterbeständig; einzelne Spezies durch atmosphärische Säuren leicht angreifbar; weich, leicht zu bearbeiten; in der Regel säg- und drehbar; nicht spaltbar und nicht polierfähig.

Druckfestigkeit: < 400 kg/cm².
Erweichungs-Koeffizient: > 1,5.

Hingehören im allgemeinen die nämlichen Gesteinsarten als in die Gruppe der IV-klassigen Bausteine; sie sind von diesen lediglich blos durch geringere Kohäsion und eine weiterreichende Erweichungsfähigkeit im Wesen unterschieden; die porösen Kalk- oder Quarzsandsteine bezw. die löchrigen Konglomerate mit kalkigem oder thonigem Bindemittel.

Kategorie B: Belagssteine und Platten.

Hierher gehören *Pflastersteine* und deren Abart, die *Pflasterquader,* rauhe und reine *Platten; Dachschiefer.*

I-klassige Pflastersteine

ohne Wassersaugvermögen; frost- und wetterbeständig; nicht spaltbar; stichfrei; hart und zähe; schwer zu bearbeiten.

Minim. *Druckfestigkeit:* 3000 kg/cm².
Maxim. *Abschliff* 3,0 cm³ für 30 kg Belastung, 200 Umdrehungen und 50 cm Schleifbahnradius.

Hierher gehören einige *Granit*-Spezies; die *Syenite*; *Diorite; Quarzporphyre;* einzelne *Liperite*-Sorten (Quarzporphyre), *Basalte* u. a m.

II-klassige Pflastersteine

ohne Wassersaugvermögen; frost- und wetterbeständig; nicht spaltbar; stichfrei; hart und angemessen zähe; schwer zu bearbeiten.

Minim. *Druckfestigkeit:* 2000 kg/cm².
Maxim. *Abschliff:* 10,0 cm³ für 30 kg Belastung, 200 Umdrehungen und 50 cm Schleifbahnradius.

Hierher gehören *Granite;* gemeine oder quarzfreie Porphyre und Trachyte; dichte, feinkörnige Quarzsandsteine u. dgl. m.

Zur Klassifikation der *Platten* fehlen ausreichende Grundlagen. Für die

Kategorie C: Dachschiefer

kann bis auf weiteres folgende Einteilung dienen:

I-klassige Dachschiefer

ohne Wassersaugvermögen; frost- und wetterbeständig; spaltbar; ebenflächig. Tadellose Dachschiefer besitzen hellen Klang und sind relativ leicht zu bearbeiten. Farbe: wechselt; vorwiegend rötlich, grünlich oder bläulich-grau. Der I-klassige Dachschiefer muss frei sein von Calciumcarbonat und Pyriteinlagerungen; seine Dicke soll 4 mm nicht übersteigen.

II-klassige Dachschiefer

ohne Wassersaugvermögen; frost- und wetterbeständig; spaltbar; angemessen ebenflächig; Klang hell; Farbe wechselt; sie ist vorwiegend bläulich- oder schwärzlich-grau (graphitgrau). Der II-klassige Dachschiefer muss frei sein von Calciumcarbonaten und soll seine Dicke unter 7 mm liegen.

III-klassige Dachschiefer

ohne Wassersaugvermögen; frostbeständig; nicht wetterfest; durch atmosphärische Säuren angreifbar; mit Salzsäure behandelt aufbrausend; spaltbar; angemessen ebenflächig; mit hellem Klang. Farbe wechselt; sie ist vorwiegend grau, bald bläulich-, bald schwärzlich-grau (graphitgrau). Die Dicke der Platten liegt meist unter 7 mm.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort zur 2. Auflage 5

Einleitung 7

I. Einteilung und Benennung der künstlichen und natürlichen Steinwaren.

1. Produkte der Thonwaren-Industrie 9
2. » » Cementwaren-Industrie 12
3. » » Industrie der natürlichen Steinwaren 13

II. Methoden der Untersuchung der künstlichen und natürlichen Bausteine.

1. Die chemisch-analytischen Untersuchungsmethoden; zusammengestellt von *W. Kahl* 17
   a. Vorbereitung des Analysenmaterials 17
   b. Beschreibung der Arbeits-Methoden 18
      α. Bestimmung der Feuchtigkeit 18
      β. » des Glühverlustes 18
      γ. » der Kohlensäure 18
      δ. » von Kieselsäure, Thonerde, Eisenoxyd, Manganoxydul, Kalk, Magnesia, Schwefelsäure etc. 23
      ε. Materialien, welche Hochofenschlacke enthalten . . 26
      ζ. Pyrithaltige Materialien 28
      η. Produkte der keramischen Industrie 29
      ϑ. Xylolith und verwandte Materialien 31
      τ. Berechnung der Analysen 32
2. Die physikalischen Untersuchungs-Methoden.
   α. Geologisches Alter und die petrographische Beschreibung der natürlichen Bausteine 32
   β. Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit und Strukturverhältnisse der künstlichen Bausteine 33

Seite

γ. Bestimmung der Gewichtsverhältnisse 38
δ. » der Dichte 42
ε. » der Porosität 44
ζ. » des Wassersaugvermögens 52
η. » der Fähigkeit des Erweichens in Wasser 53
ϑ. » der Frost- und Wetterbeständigkeits-verhältnisse 53
1. bei den Silicatgesteinen (bearbeitet durch Prof. Dr. *Grubenmann)* 56
2. bei den Karbonaten 60
3. » » Trümmergesteinen 62
ι. Bestimmung des Gehalts an löslichen Salzen in Produkten der Thonwaren-Industrie 69
κ. Bestimmung des Gehalts an löschfähigen Körpern in Produkten der Thonwaren-Industrie 69
λ. Bestimmung der Härte und des Widerstandes gegen mech. Abnützung 70
μ. Bestimmung der Durchlässigkeit von Dachsteinen . 72
ν. » der Festigkeitsverhältnisse 72
ο. » der Qualitätsverhältnisse künstlicher oder natürlicher Bausteine und der verwandten Materialien 80

III. Resultate der Untersuchung der künstlichen Bausteine.

1. Resultate der Untersuchung der Beziehungen zwischen der Brandfarbe und der chemischen Zusammensetzung des Materials 83

2. Resultate der Untersuchung der Produkte der schweiz. Ziegelfabriken (1883—1898) 105
A. Mauer- und Formsteine 106
B. Dachziegel 118
C. Belagsplatten 124
D. Anhang 130

3. Resultate der Untersuchung der Produkte ausländischer Ziegelfabriken.
A. Mauer- und Formsteine 132
B. Dachziegel 132

4. Resultate der Untersuchung der Produkte der Cementwaren-Industrie 134

IV. Der Kalk in den Thonwaren 146

V. Über das sog. „Salpetern" der Mauerziegel . . . 153

VI. Zur Frage der Qualitäts-Vorschriften für künstliche Mauersteine und Dachziegel 161

VII. Einteilung, Benennung und Beurteilung der natürlichen Bausteine nach ihrer petrographischen Beschaffenheit und geologischen Stellung; von Prof. Dr. *U. Grubenmann* 171

1. Silikat-Gesteine.
   A. Erstarrungsgesteine mit massiger Textur 174
   B. Kristallinische Schiefergesteine 188
2. Kalk-Gesteine.
   A. Kohlensaure Kalk-Gesteine 195
      a) Kristallinisch-körnige Kalke 195
      b) Dichte Kalke 203
      c) Kalksinter und Kalktuff 214
      d) Der Dolomit 215
   B. Schwefelsaurer Kalk 217
3. Thon-Gesteine 219
4. Trümmer-Gesteine 221
   A. Breccien 222
   B. Konglomerate 225
   C. Sandsteine 227
   D. Vulkanische Tuffe 234

VIII. Resultate der Untersuchung der natürlichen Bausteine 235

1. Resultate der Untersuchung der Produkte der schweizer. Industrie natürlicher Bausteine nebst einiger Importwaren.
   I. Granitartige Gesteine 236
   II. Trümmer-Gesteine 238
   III. Kalksteine 248
2. Resultate der Untersuchung der Produkte der schweiz. Dachschiefer-Industrie nebst einigen Importwaren.

Seite

a) Die Entstehung und Textur der Thonschiefer; von Prof. Dr. *A. Heim* 258
b) Resultate der chemisch-physikalischen Untersuchungen 276

IX. Über einige verwitternde Kalksteinsorten vom obern Nil-Delta 293

X. Zur Frage der Konservierung natürlicher Bausteine 305

XI. Über die elastischen Formänderungen auf Biegung beanspruchter Steinbalken 328

XII. Klassifikation der natürlichen Bauwerksteine . . 349

Druckfehlerverzeichnis.

Ste. 86: No. 20, statt Zbinden, frères, lies Savary & Co.; No 21 ist Material von Zbinden, frères.
» 87: No. 21, Alkalien, statt 2,45 lies 2,42 %.
» 87: No. 28, Schwefelsäure, statt 0,20 lies 0,24 %.
» 100: No. 196, statt Rütishauser, M., Emmerswil lies Rütishauser, U., Hemmerswil.

No. 1. Schwarz.

No. 6. Hausroth I.

No. 2. Schwarzbraun.

No. 7. Hausroth II.

No. 3. Violettbraun.

No. 8. Hausroth III.

No. 4. Dunkelgelbbraun.

No. 9. Ziegelroth I, dunkel.

No. 5. Braunroth.

No. 10. Ziegelroth II.

Lith. Anst. v. Werner & Winter, Frankfurt a/M.

No. 11. Ziegelroth III, feurig.

No. 16. Lederfarbig III, stumpf.

No. 12. Ziegelroth IV, leuchtend.

No. 17. Lederfarbig IV, hell.

No. 13. Rostfarbig.

No. 18. Fleischfarbig I.

No. 14. Lederfarbig I, dunkel.

No. 19. Fleischfarbig II.

No. 15. Lederfarbig II.

No. 20. Orange Ia

Lith. Anst. v. Werner & Winter, Frankfurt a/M.

No. 21. Orange Ib

No. 26. Goldocker II.

No. 22. Orange Ic

No. 27. Goldocker III.

No. 23. Orange II.

No. 28. Goldocker IV.

No. 24. Orange III.

No. 29. Ocker I, dunkel.

No. 25. Goldocker I.

No. 30. Ocker II, normal.

Lith. Anst. v. Werner & Winter, Frankfurt a. M.

No. 31. Ocker III, hell.

No. 36. Weissgelb.

No. 32. Ocker IV, blass.

No. 37. Stumpfocker I.

No. 33. Holzfarbe I.

No. 38. Stumpfocker II.

No. 34. Holzfarbe II.

No. 39. Stumpfocker III.

No. 35. Gelb.

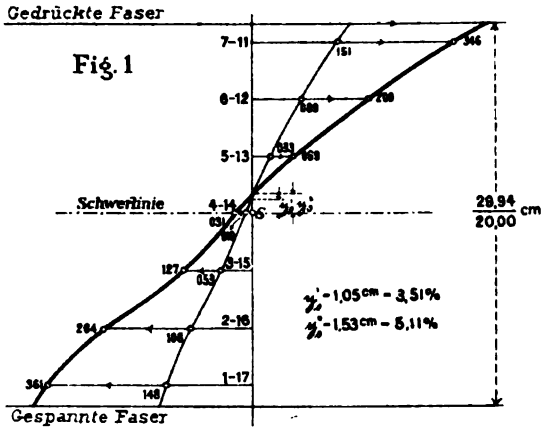
No. 40. Weiss.

Lith. Anst. v. Werner & Winter, Frankfurt A/M.

Graphische Darstellung der Resu

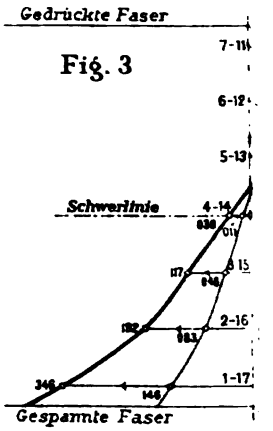
auf Biegung beansp

Sandsteinbalken
von Oggiono

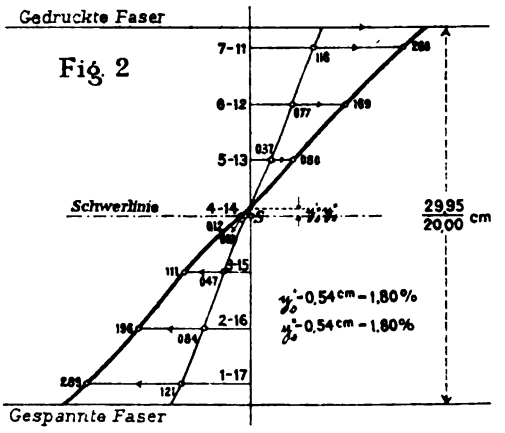


Stiftenanordnung: symetrisch
zur Balkenmitte

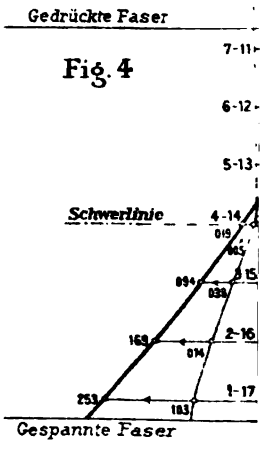
Granit
von B



Stiftenanordn
zur Ba



Stiftenanordnung: seitlich
der Balkenmitte

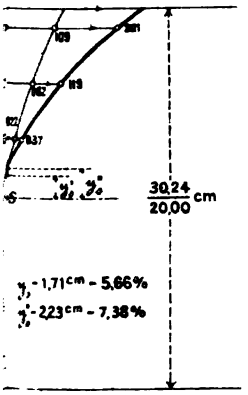


Stiftenanord
der B

ultate der Elasticitäts-Messungen

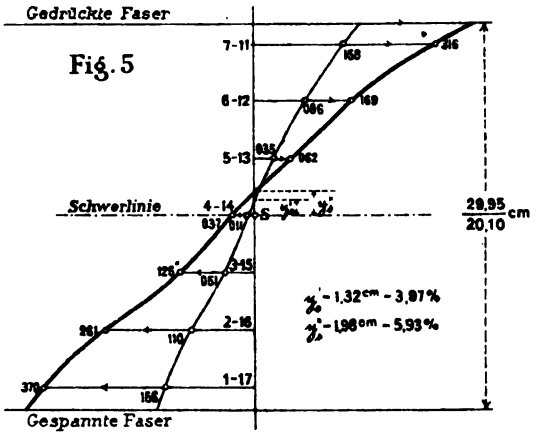
pruchter Steinbalken.

balken
Saveno

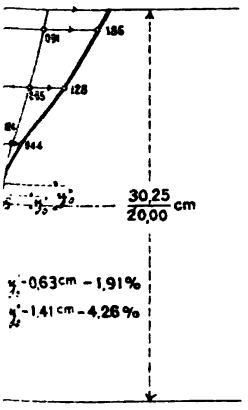


ung: symetrisch
lkenmitte

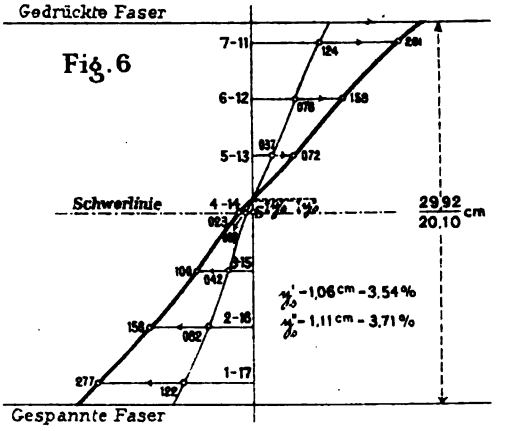
Granitbalken
von Gurtnellen



Stiftenanordnung: symetrisch
zur Balkenmitte



ung: seitlich
lkenmitte



Stiftenanordnung: seitlich
der Balkenmitte

Mitteilungen
der Materialprüfungs-Anstalt
am schweiz. Polytechnikum in Zürich.

VIII. Heft.

Die Gesetze der Knickungsfestigkeit
der technisch wichtigsten Baustoffe.

Von

Prof. **L. Tetmajer**
Direktor der Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum, etc.

Selbst-Verlag der Anstalt.
In Kommission bei *J. Speidel,* Zürich IV.

ZÜRICH
Druck von F. Lohbauer, Rämistrasse 12
1896.

Vorwort.

Vorliegendes Heft der Mitteilungen der Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum enthält die Zusammenstellung der Versuche, welche zu verschiedenen Zeiten in der Absicht unternommen wurden, die vielfach ventilierte Frage der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe abzuklären. Seit *Hodgkinson* haben sich berufene Männer der Praxis und der Wissenschaft in einer fast ununterbrochenen Kette teils experimenteller, teils mathematischer Arbeiten mit der Frage der gesetzmässigen Änderungen des Tragvermögens gedrückter Stäbe mit Änderung ihrer Längenverhältnisse beschäftigt ohne indessen zu einem abschliessenden Resultate zu gelangen. Selbst *Bauschinger* blieb es vorenthalten das Verhalten der unterschiedlichen Baustoffe in der erweiterten Druckprobe abzuklären, obschon gerade *Bauschinger* es gewesen, der durch Einführung der Spitzenlagerung seiner Versuchskörper dem Wesen der Knickungsvorgänge und damit jenem der Knickungsgesetze näher trat, als es irgend einem seiner Fachgenossen möglich war. So hat *Bauschinger* als erster auf experimentellem Wege die Richtigkeit der in Misskredit gebrachten Knickungsformel *Euler's* nachgewiesen, ohne jedoch deren Gültigkeitsgrenzen näher zu kennzeichnen, und ohne das für das Konstruktionsfach so wichtige Gebiet der Längenverhältnisse zwischen dem reinen Druck und den Knickungsvorgängen vorwiegend elastischen Charakters, für welche allein *Euler's* Formel Gültigkeit besitzen kann, aufzuschliessen. Dass *Bauschinger* dieses Gebiet unabgeklärt liess, lag lediglich nur an der Unzulänglichkeit seiner Hülfsmittel. Mit einigen wenigen, noch so exakt durchgeführten Versuchen war auf fraglichem Gebiete ein abschliessendes Resultat nicht zu erreichen und wenn es in der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt gelungen ist *Bauschinger's* Befund zu bestätigen, die Gültigkeitsgrenzen der *Euler'*schen Formel festzulegen und das Verhalten der technisch wichtigsten Baustoffe im Intervalle der massgebenden Längenverhältnisse der gedrückten Stäbe dieseits jener Grenzen abzuklären, so ist das Resultat in erster Linie dem Opfersinne einiger Materialproduzenten zu danken, die nicht scheuten das Versuchsmaterial in den erforderlichen

Mengen (Gusseisen ca. 13,0 *t*; schmiedbares Eisen ca. 16,0 *t*; etc. etc.) zu liefern. Das Versuchsmaterial zu unsern Arbeiten haben kostenfrei geliefert:

die p. t. Forstverwaltungen der Kantone ***Aargau, Bern, Graubünden, St. Gallen, Waadt*** und ***Wallis;***
die p. t. Forstverwaltung der ***Stadt Zürich;***
die Direktion der Halbergerhütte der HH. *R. Böcking & Co.,* Brebach;
„ „ „ Giesserei der HH. Gebr. *Carels* in Gent;
„ „ „ von *Roll'schen* Eisenwerke in Choindez;
„ „ „ *Burbacher Hütte* in Burbach-Malstatt;
„ „ „ Werke der HH. *de Wendel & Co.* in Hayange.

Zur Ausführung der Knickungsversuche mit gusseisernen Rohrabschnitten reichte die disponible Kraftentfaltung der *Werder*-Maschine der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt nicht mehr aus und wir sahen uns genötigt neuerdings die Gefälligkeit des Herrn Ingr. *E. Roussel,* Chef der Materialversuchs-Anstalt der belgischen Staatsbahnen zu Malines, welcher nicht müde wird zu helfen, wenn es sich um Förderung wissenschaftlicher Interessen handelt, in Anspruch zu nehmen. Es erwächst uns lediglich nur die angenehme Pflicht dem Verwalter der belgischen Staatsbahnen, Herrn Generaldirektor *Schaar*, für die Bewilligung der kostenfreien Benützung der grossen Kirkaldy-Maschine der Maliner Versuchs-Anstalt, Herrn Ingr. *E. Roussel* für sein kollegiales Entgegenkommen und seine vielfachen Bemühungen hiermit Anerkennung und den wärmsten Dank auszusprechen.

Eine Reihe von Resultaten unserer Knickungsversuche mit Holz wurden bereits im Jahre 1888 in der *Schweizerischen Bauzeitung* (Bd. XI, Nr. 18) veröffentlicht. Die Ergebnisse der Knickungsproben mit schmiedbarem Eisen haben wir im 4. Hefte der offiziellen Mitteilungen unserer Anstalt niedergelegt. Des Zusammenhangs willen mit Ergebnissen späterer Versuche, ferner um einige Druck- und Schreibfehler, die in die Zahlenreihen des 4. Heftes eingeschlichen sind, richtig zu stellen, gelangen im vorliegenden Hefte auch einige der älteren Versuchsreihen zum nochmaligen Abdrucke.

Möge sich vorliegende Arbeit in jenen Kreisen, welchen sie zu dienen berufen ist, als zeitgemäss und nutzbringend erweisen.

ZÜRICH, im Frühjahr 1896.

Der Verfasser.

1. Ursachen der Knickerscheinungen, Grundformeln.

Wird ein prismatischer Stab der Wirkung einer centrisch angreifenden Druckkraft N ausgesetzt, so erfahren dessen kleinste Teilchen Lagenänderungen, deren Inbegriff wir als Formänderung des Stabes beobachten. Diese besteht in einer Verkürzung des Stabes in seiner Längenrichtung, bei gleichzeitiger Breitung in den Querrichtungen. Bei Materialien, die den Elasticitäts- und Proportionalitätsgesetzen folgen, erfahren die Stäbe bei Inanspruchnahmen innerhalb der Elasticitätsgrenze vorwiegend elastische d. h. solche Formänderungen, die nach Wegnahme der Belastung wieder verschwinden. Bei Inanspruchnahmen jenseits dieser Grenze sind sie vorwiegend unelastischer Art und die bleibenden Formänderungen desto grösser, je mehr sich die Anstrengung der Kohäsionsgrenze des Materials nähert, bei welcher entweder Trennung der Teile (das Zermalmen), lokales Ineinanderschieben der Fasern (z. B. bei Holz), oder eine plastische Deformabilität (bei zähen Metallen) eintritt.

Diese Vorgänge sind bei homogenen Materialien und Stäben von relativ geringer Länge zu beobachten. Relativ lange Stäbe verlieren unter Biegungserscheinung oft lange vor dem Erreichen der Kohäsionsgrenze des Materials ihre Tragkraft. An der Grenze des Tragvermögens treten solche Stäbe in einen labillen Gleichgewichtszustand; sie verlieren ihr Tragvermögen durch Hinzutritt an sich geringfügiger Einwirkungen, die eine Vergrösserung der Durchbiegung herbeiführen, fast plötzlich. Die Stäbe schlagen sich durch und brechen, sofern während der Verbiegung die *Bruchdehnung* des Materials auf der gespannten Stabseite erschöpft wird. Diesen Vorgang nennt man «*Knickung*»; die Belastung N, die eben noch Knickung hervorbringt, die «*Knickungskraft*». Die auf die Einheit der Querschnittsfläche des Stabes reduzierte Knickungskraft heisst «*Knickspannung*»; wir bezeichnen sie mit β_k. *Knickungsvorgänge* werden stets durch Verbiegung der Stäbe eingeleitet, welche je nach Umständen schon bei relativ geringen specifischen Anstrengungen des Stabmaterials beginnen, mitunter aber auch erst unmittelbar vor dem Erreichen des Grösstwertes der Tragkraft eintreten, wie dies beispielsweise die beiden folgenden Fälle näher illustrieren.

Weisstanne I_b (Spitzenlagerung).

Urspr. Balkenlänge: $l_0 = 520{,}2\ cm$; Querschnittsbreite: $b = 14{,}68\ cm$;
wirksame » $l = 539{,}4\ cm$; Querschnittsdicke: $s = 14{,}70\ cm$;
Querschnittsfläche: $F = 215{,}8\ cm^2$;
Trägheitshalbmesser: $k = 4{,}24\ cm$;
massgebendes Längenverhältnis: $\frac{l}{k} = 127{,}2$.

№	Belastung absolut in *t*	Ausweichung der Balkenmitte in *cm* horizontal absolut	horizontal Differenz	vertikal absolut	vertikal Differenz	Knickspannung β_k in *t* pro cm^2 beobachtet	berechnet nach Euler	berechnet nach Tetmajer	Bemerkungen
9	0,50	9,85		15,60					Versuchsobjekt ist ziemlich stark schwindrissig und astknotig.
			0,00		0,00				
	1,00	9,85		15,60					
			0,00		0,00				
	2,00	9,85		15,60					
			0,00		0,00				
	3,00	9,85		15,60					
			0,00		0,00				
	4,00	9,85		15,60					Für die Tragkraft an der Grenze
			0,00		0,00				
	5,00	9,85		15,60					$\beta_k = 0{,}063\ t$ pro cm^2
			0,00		0,00				
	6,00	9,85		15,60					liefert *Euler's* Formel den
			—0,02		—0,02				
	7,00	9,83		15,58					*Elasticitätsmodul* zu:
			—0,01		0,00				
	8,00	9,82		15,58					$\varepsilon = \frac{\beta_k \left(\frac{l}{k}\right)^2}{\pi^2} = 103\ t\ \text{p.}\ cm^2$
			—0,02		—0,03				
	9,00	9,80		15,55					
			0,00		0,02				
	10,00	9,80		15,53					
			—0,01		—0,03				
	11,00	9,79		15,50					
			—0,04		—0,05				
	12,00	9,75		15,45					
			0,12		0,15				
	13,00	9,63		15,30					
			—0,17		—0,32				
	,50	9,46		14,98		0,063	0,061	—	Balken wird intakt ausrangiert.
	13,70	*Grenze d. Tragvermögens*							
	0,50	9,85	0,00	15,55	—0,05				

Knickungsversuch No. 10 (Flächenlagerung).

Stab mit Kreuzplatten, der Strebe No. 8 der Mönchensteiner Brücke nachgebildet; Schweisseisen.

Strebenprofil: ┼ aus 2 Winkeleisen, nominell 10,0 : 10,0 : 1,4 *cm*;
Strebenlänge: 7,447 *m*; Querschnittfläche 52,3 cm^2;
Trägheitshalbmesser, Kleinstwert: 3,82 *cm*;
⊥ u. ‖ zum Anschlussblech: 4,69 *cm*.

№	Belastung absolut in *t*	Ausweichung der Stabmitte in *cm* horizontal absolut	horizontal Differenz	vertikal absolut	vertikal Differenz	Knickspannung β_k in *t* pro cm^2 beobachtet	berechnet nach Euler	berechnet nach Tetmajer	Bemerkungen
10	0,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	5,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	10,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	15,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	20,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	25,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	30,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	35,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	40,00	7,01		10,00					
			0,01		0,00				
	43,00	7,02		10,00					
			0,00		0,00				
	50,00	7,02		10,00					
			0,01		0,00				
	56,00	7,03		10,00					
			0,00		0,00				
	60,00	7,03		10,00					
			0,01		—0,08				
	65,00	7,04		9,92					
			0,02		—0,06				
	70,00	7,06		9,86					
	72,50	*Verlust d. Tragvermögens.*				1,39	—	1,76	Versuchsobjekt schlägt sich fast plötzlich durch.

Richtung der Durchbiegung korrespondiert mit d. Richtung des kleinsten Trägheitshalbmessers der Teilflächen des Querschnitts.

Für eine wirksame Stablänge:
$l = 0{,}5 \times 744{,}7 = 372{,}4$ *cm*
wird die massgebende Stablänge:

$$\frac{l}{k} = \frac{372{,}4}{3{,}82} = 97{,}5;$$

es liefert die Formel:

$$\beta_k = 3{,}03 - 0{,}013 \frac{l}{k}$$

$$\beta_k = 1{,}76\ t \text{ pro } cm^2.$$

Verbiegungen und damit Knickung prismatischer, centrischen Druckkräften ausgesetzter Stäbe werden erzeugt und gefördert:

1. *durch Fehler, die die Homogenität des Materials nachteilig beeinflussen* (Schweissfehler, Schlackennester, Gussporen, Blasen, Astknoten, u. d. m.);

2. *durch Umstände, die Abweichungen der Stabaxe von der Kraftrichtung erzeugen* (unsymetrische Querschnittsbildungen, excentrischer Guss, lokale Verschiedenheit der Elasticitätsverhältnisse, u. d. m.);

3. *durch Ungradheit der Stabaxe* (mathematisch geradlinige Stäbe sind in der Praxis selbstredend ausgeschlossen).

Wird nun ein materieller Stab von der Länge l_0, vom Querschnitte F durch eine centrische Druckkraft N auf Druck beansprucht und biegt sich zu Folge einer oder mehrerer der vorstehend angeführten Umstände durch, so wird bei vorwiegend elastischer Formänderung, die Winkeländerung der elastischen Linie des deformierten Stabes an beliebiger Stelle durch:

$$d\tau = -\frac{Nx}{\varepsilon J}\,dy$$

ausgedrückt, weil im Sinne der Fig. 1 mit wachsender Länge (y) des Stababschnittes der Winkel abnimmt. Da nun für die Gleichung der *elastischen Linie:*

$$x = f(y)$$

$$f'(y) = \frac{dx}{dy} = tg\tau, \quad d\tau = cos^2\tau\,\frac{d^2x}{dy}$$

ist, so erhält man die Differentialgleichung der elastischen Linie des deformierten Balkens in der Form:

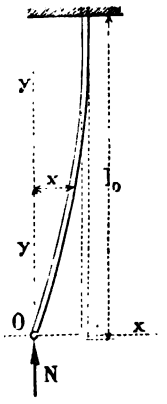


Fig. 1.

$$\frac{d^2x}{dy^2} = -\frac{1}{cos^2\tau}\,\frac{Nx}{\varepsilon J} = -\frac{p^2}{cos^2\tau}, \text{ worin } p^2 = \frac{N}{\varepsilon J}$$

bedeutet.

Berücksichtigt man, dass τ sehr klein somit $cos\tau = 1$ gesetzt werden darf, so erhält man als Gleichung der elastischen Linie:

$$x = C_1\,sin\,py + C_2\,cos\,py$$

und für Belastung innerhalb der Elasticitätsgrenze die Knickkraft:

$$N = \varepsilon p^2 J.$$

Die letzte Gleichung ist *Eulers Knickungsformel* in ihrer allgemeinen Form. Bei Anstrengungen innerhalb der Elasticitätsgrenze wird nach Vorstehendem die Axe des deformierten Stabes ein Teilstück einer Wellenlinie bilden; jenseits dieser Grenze kann die Gleichung nur den Wert einer Annäherung für sich in Anspruch nehmen. Dessen ungeachtet soll bei der Berechnung und den graphischen Darstellungen der Versuchsresultate die theoretische Form der deformierten Stabaxe beibehalten also auch auf das Gebiet der vorwiegend unelastischen Knickerscheinungen ausgedehnt werden.

1. Specialfall: Der gedrückte Stab sei an beiden Enden vollkommen beweglich gelagert.

Für $y = o$ ist $x = o$, somit $C_2 = o$ also

$$x = C_1 \sin py.$$

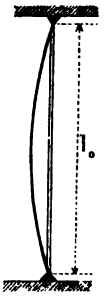


Fig. 2.

Für $y = l_0$ soll vorstehende Gleichung $x = o$ liefern. Diese Bedingung wird für:

$$pl_0 = \mu\pi$$

erfüllt, wenn μ eine ganze Zahl bedeutet.

Für:

$$\mu = 1 \text{ wird } p = \frac{\pi}{l_0} \text{ und } x = C_1 \sin \frac{\pi}{l_0} y,$$

somit *Eulers* Knickungsformel:

$$N = \varepsilon\pi^2 \frac{J}{l_0^2} \text{ oder } \beta_k = \frac{N}{F} = \varepsilon\pi^2 \left(\frac{k}{l}\right)^2,$$

wenn k den Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche in der Knickungsrichtung, und $l_0 = l$ die freie Knicklänge des Stabes bedeutet.

Für:	$\mu = 2$;	$\mu = 3$;	$\mu = 4$;
wird:	$p = 2\frac{\pi}{l_0}$;	$p = 3\frac{\pi}{l_0}$;	$p = 4\frac{\pi}{l_0}$;
somit:	$x = C_1 \sin \frac{2\pi}{l_0} y$;	$x = C_1 \sin \frac{3\pi}{l_0} y$;	$x = C_1 \sin \frac{4\pi}{l_0} y$;
und:	$N = \varepsilon\pi^2 \frac{J}{(l:2)^2}$;	$N = \varepsilon\pi^2 \frac{J}{(l:3)^2}$;	$N = \varepsilon\pi^2 \frac{J}{(l:4)^2}$.

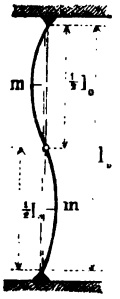


Fig. 3.

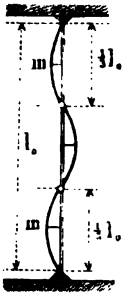


Fig. 4.

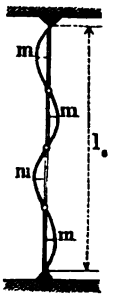


Fig. 5.

Wird also der Stab in dessen Mitte, in den Dritteln oder den Vierteln festgehalten, ohne die freien Tangentenänderungen der elastischen Linie an diesen Stellen zu verhindern, so wird die Formänderung in derselben Weise erfolgen, die Tragkraft an der Grenze den gleichen Wert erhalten, als ob jede Teilstrecke für sich beweglich eingespannt wäre. Es beträgt somit die *freie Knickungslänge* l

im *ersten* Fall: $l = \frac{1}{2}\, l_0$ im *zweiten* Fall: $l = \frac{1}{3}\, l_0$ im *dritten* Fall: $l = \frac{1}{4}\, l_0$,

mithin ist in allen Fällen die *Knickungskraft* nach *Euler* durch:

$$N = \varepsilon \pi^2 \frac{J}{l^2},$$

die *Knickspannung* durch:

$$\beta_k = \varepsilon \pi^2 \left(\frac{k}{l}\right)^2$$

ausgedrückt, sofern l im Sinne der vorstehenden Darlegungen, die freie *Knickungslänge* des Stabes bedeutet.

2. Specialfall: Der gedrückte Stab sei an beiden Enden unwandelbar eingespannt.

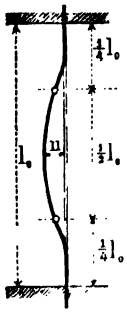


Fig. 6.

Bautechnisches Interesse hat hier zunächst der Fall $\mu = 2$, für welchen, da für:

$$y = o \text{ und } y = l_0 \,;\; \frac{dx}{dy} = tg\, \tau = o$$

ergeben muss, p, x und N durch:

$$p = 2\,\frac{\pi}{l_0}\,;\quad x = C_2 \cos \frac{2\pi}{l_0}\, y \text{ und } N = \varepsilon \pi^2 \frac{J}{(l_0 : 2)^2}$$

ausgedrückt werden.

Die *freie Knickungslänge* beträgt somit: $l = \frac{1}{2} l_0$; die Inflexionsstellen liegen in den Vierteln der Stablänge.

3. Specialfall: Der gedrückte Stab sei einseitig unwandelbar, anderseitig beweglich eingespannt.

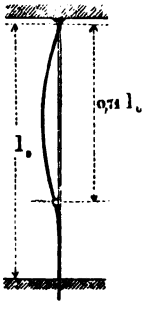


Fig. 7.

In diesem Falle beträgt die freie Knickungslänge nach Dr. *E. Winkler:*

$$l = 0{,}71\ l_0.$$

Der *Euler*'schen Knickungsformel wird der Vorwurf gemacht, dass sie über die im gedrückten Stabe herrschenden Spannungszustände keine Aufschlüsse erteilt. Dieser Vorwurf hat nur teilweise Berechtigung und ändert an der Gültigkeit und der praktischen Verwendbarkeit der *Euler*'schen Formel nichts*). Man übersieht gewöhnlich, dass die Organe unserer Bauwerke mit m-facher Sicherheit gegen Knickung, somit in Belastungsintervallen arbeiten, in welchen Verbiegungen keineswegs unbedingt auftreten, das Stabmaterial also auch nicht unbedingt ungleichmässige Spannungszustände erfährt, wie dies der Fall wäre, wenn die Arbeitsbelastung aus irgend welchen Gründen schon anfänglich excentrisch angreifen würde.

Bei dem auf S. 6 wiedergegebenen Versuche trat Knickung bei 13,7 *t* auf. Setzen wir den Sicherheitsgrad $m = 5$, so wäre die Arbeitsbelastung des Stabes

$$N = \frac{13{,}7}{5} = 2{,}74\ t.$$

Tabelle auf S. 6 zeigt, dass erst bei einer Belastung von ca. 6,5 *t* eine Verbiegung dieses Stabes wahrgenommen wurde, dass somit derselbe bei einer statischen Belastung von 2,74 *t* zuverlässig gleichmässig u. z. mit

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{2{,}74}{215{,}8} = 0{,}013\ t \text{ pro } cm^2$$

arbeiten musste.

*) Es verdient bemerkt zu werden, was indessen aus der graphischen Darstellung der Versuchsresultate der Knickungsproben ohne weiteres ersichtlich ist, dass innerhalb bestimmter Grenzen die Versuchsresultate und die Ergebnisse der Rechnung nach *Euler's* Formel sich fast vollkommen decken. Die Übereinstimmung der Versuchs- und Rechnungsresultate war für das schmiedbare Eisen eine derartig genaue, dass aus der anfänglichen Divergenz dieser Resultate der unzulängliche Genauigkeitsgrad der Berechnung der

Für den auf S. 7 wiedergegebenen Fall beträgt $B = 72{,}5\ t$; nimmt man $m = 4$, so wird

$$N = \frac{72{,}5}{4} = 18{,}13\ t,$$

während Verbiegungen erst bei ca. 41,5 eingetreten sind. Dieser Stab wäre somit unter einer centrischen Arbeitsbelastung von 18,13 t ebenfalls gleichmässig u. z. mit:

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{18{,}14}{52{,}3} = 0{,}349\ t \text{ pro } cm^2$$

in Anspruch genommen worden sein.

Aus den angeführten Gründen ist es mindestens im Allgemeinen unstatthaft, die angreifende Kraft N als excentrisch wirkend, Biegungsspannungen erzeugend vorauszusetzen und zu behandeln.

Verbiegungen durch die Arbeitsbelastung N eines gedrückten Stabes würden nach *Navier's* Formel Inanspruchnahmen der meist gepressten Faser

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{Nx}{J} \cdot c = \sigma_d \left[1 + \frac{x\,c}{k^2}\right]$$

ergeben, worin

x den Excentricitätshebel bezüglich des Schwerpunktes des gefährlichen Querschnitts,

c den Schwerpunktsabstand von der meist gepressten Faser,

k den Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche in der Biegungsrichtung,

$\sigma_d = N : F$ die Inanspruchnahme des Stabmaterials auf Druck bedeutet.

In vorstehenden Ausdrücken ist der Excentricitätshebel x unbekannt und auch experimentell nicht bestimmbar. Die Excentricität x ist eben keine Folgewirkung einer *konstanten*

---

deutschen Normalprofile mit abgeschrägten (mit Anzug gewalzte) Flanschen nachgewiesen worden ist. Erst nach Ermittlung der genauen Schwerpunktslagen, Trägheitsmomente und Trägheitshalbmesser und nach Substitution dieser Werte in die *Euler'*sche Formel, trat die ausgewiesene Übereinstimmung der Versuchs- und Rechnungsergebnisse ein. Wir haben nicht verfehlt auf diese Verhältnisse s. Z. an massgebender Stelle aufmerksam zu machen und eine Revision der Werte der Querschnittsgrössen der deutschen Normalprofile zu beantragen.

Anfangsexcentricität, sondern Folge oft verschiedenartiger Umstände, — vergleiche die Einleitung dieser Nr. —, die sich während der Einwirkung der Belastung, nicht selten erst unmittelbar vor dem Erreichen der Grenze der Tragkraft entwickeln und ihren schädlichen Einfluss ausüben.

Sind die Querschnittsabmessungen des gedrückten Stabes mit m-facher Sicherheit gegen Knickung gewählt, so ist

$$N = \frac{1}{m} \pi^2 \varepsilon \frac{J}{l^2}.$$

Setzt man ferner voraus, unter der Arbeitsbelastung biege sich der Stab in der Mitte um x durch, so wird ein Biegungsmoment Nx erzeugt, und

$$Nx = \frac{J}{c} \sigma_b \text{ oder } N = \frac{J}{c} \frac{\sigma_b}{x}$$

betragen, worin σ_b die Biegungsspannung der äussersten Faser bedeutet.

Durch Gleichsetzen der Werte von N erhält man mit *C. v. Bach,* vergleiche dessen Elasticität und Festigkeit, 2. Aufl., Seite 130:

$$\frac{\pi^2 \varepsilon}{m} \frac{J}{l^2} = \frac{J}{c} \frac{\sigma_b}{x} \text{ oder } cx = \frac{\sigma_b}{\varepsilon} \frac{m}{\pi^2} l^2,$$

welcher Wert in die *Navier'*sche Formel eingeführt:

$$\sigma = \sigma_d \left[1 + \frac{\sigma_b}{\varepsilon} \frac{m}{\pi^2} \left(\frac{l}{k}\right)^2\right] = \sigma_d \left[1 + \eta \left(\frac{l}{k}\right)^2\right]$$

liefert, worin die unbenannte Zahl:

$$\eta = \frac{\sigma_b}{\varepsilon} \frac{m}{\pi^2}$$

den s. g. »*Knickungskoeffizienten*« bedeutet.

Vorstehende Gleichung in der Form:

$$\sigma_d = \frac{\sigma}{1 + \eta \left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

geschrieben, ist als die *Schwarz-Rankine'*sche Formel bekannt. Dass diese Formel zunächst nur für Materialinanspruchnahmen innerhalb der Elasticitätsgrenze gilt, bedarf keiner Erwähnung.

An Stelle des unbekannten Excentricitätshebels x der *Navier'*schen Gleichung tritt in der *Schwarz-Rankine'*schen Knickungsformel der Knickungskoeffizient η als Unbekannte

auf, die experimentell innerhalb der Elasticitätsgrenze ebensowenig bestimmbar ist als ein etwa ursprünglich vorhanden gewesener Excentricitätshebel. Zur Bestimmung von η bleibt soweit nichts übrig als die Gültigkeit der Schwarz-Rankine'schen Formel auf alle überhaupt möglichen Längenverhältnisse und Belastungszustände auszudehnen, wodurch sie den Charakter einer völlig empirischen Formel gewinnt.

Zur Ermittlung von η stehen verschiedene, jedoch ungleichwertige Wege offen. Für den Eintritt der Knickung wird gewöhnlich $\sigma_d = {}_i\beta_k$ und $\sigma = {}_i\beta_d$ gesetzt und η aus der *Schwarz-Rankine*'schen Formel:

$$ {}_i\beta_k = \frac{{}_i\beta_d}{1 + \eta \left(\frac{l}{k}\right)^2} $$

für die unterschiedlichen Werte von $l : k$ berechnet werden. Nun ist keineswegs festgestellt, dass σ wirklich konstant und $= {}_i\beta_d$ sei; es ist vielmehr wahrscheinlich dass σ und η sich ändern; wir werden indessen auch den vorstehend geführten Weg betreten, indem andere zu noch unwahrscheinlichern, oft sinnlosen Resultaten führten.

2. Über die Auswahl, Form und Bearbeitung des Versuchsmaterials.

a. Bauholz.

Material-Lieferanten: die im Vorwort genannten schweiz. Forstverwaltungen.

Den Knickungsproben lagen ausschliesslich die bautechnisch wichtigen Holzarten, nämlich

die *Rottanne*, die *Weisstanne*, die *Föhre*, die *Lärche*
sowie die *Eiche*

zu Grunde.

Für die Gewinnung, Formgebung und Bearbeitung des Versuchsmaterials waren zu verschiedenen Zeiten verschiedene Vorschriften gültig. Bei Entnahme des Holzes aus dem Handel

konnten Vorschriften überhaupt nicht gemacht werden; es ist soviel als möglich blos der Wunsch geltend gemacht worden, astreines Holz zu erhalten.

Für den Bezug des Versuchsmaterials zu unsern ältesten Knickungsproben waren folgende Bestimmungen massgebend:

«Das zu prüfende Holz ist im Dezember aus geschlossenen, 80- bis 100-jährigen Beständen u. z. von der Molasse, dem Kalkboden, dem Thonschiefer und Granit- oder Gneissboden zu entnehmen, und nach Anleitung von Fig. 8 derart zu zerlegen, dass

1. 2 Stück Würfel von 10 *cm* Kantenlänge aus dem reifen Holz zu Seiten des Markes, nämlich No. 2 und 4, sowie 1 Würfel (No. 1) aus der Stamm-Mitte; ferner
2. 4 Stück Prismen, No. 2, 3, 4 und 5 von 10 × 10 *cm* Querschnitt und je einer Länge von 50, 100, 150 und 200 *cm* gewonnen werden. Die Prismen sind ähnlich den unter 1 angeführten Würfeln aus dem reifen Holz seitlich des Markstückes (No. 1) herauszuschneiden».

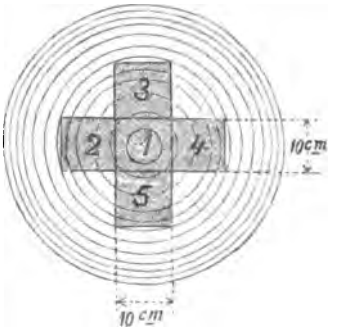


Fig. 8.

Das Material unserer Knickungsproben aus den Jahren 1888, teilweise auch 1894 und 1895 ist aus dem Handel genommen. Die Balken erhielten ca. 16 × 16 *cm* Querschnitt bei ca. 7,0 *m* Länge und waren möglichst astrein gewählt.

Bei Bezug des Versuchsmaterials zu den, anlässlich der Landesausstellung vom Jahre 1896 abgewickelten Ergänzungsproben galten folgende Vorschriften:

«Zur Probe gelangen von der Molasse und dem Jura:

die *Rottanne*, die *Weisstanne*, die *Föhre* und die *Eiche*; vom Granitboden:

die *Rottanne*, die *Weisstanne*, die *Föhre* und die *Lärche*. Von jedem Standorte und jeder Holzgattung sind aus verschiedenen Stämmen je ein 6 *m* langer, 16 × 16 *cm* starker Balken zu entnehmen. Die Versuchsobjekte müssen die Markröhre enthalten, durchweg dem reifen Holze angehören, möglichst astrein und normalwüchsig sein. Sämtliche Balken sind nach

mehrmonatlicher Lufttrocknung gerad- und scharfkantig behobelt, die Endflächen senkrecht zur Balkenaxe abgeschnitten und ebenflächig abgerichtet einzuliefern».

b. Gusseisen.

Material-Lieferanten: Carels-frères in Gent; Halberger-Hütte in Brebach; v. Roll'sches Eisenwerk in Choindez.

Vorgeschrieben war stehender Hochofenguss; ob diese Forderung eingehalten wurde, ist nicht mit Sicherheit zu entscheiden. So viel uns bekannt, giesst die Firma der Hr. *Carels-frères* in Gent überhaupt nur aus dem Kupolofen. Das v. Roll'sche Eisenwerk Choindez giesst aus dem Hochofen; desgleichen die Halberger-Hütte der Herren R. Böcking & Comp.

Die Rohre konnten in beliebigen Längen gegossen, die kürzern durch Abstechen auf der Drehbank aus längern gewonnen werden. Zu liefern waren für jede Gusseisenart 3 Serien, nämlich:

I. Serie:

2	Stück	Rohrabschnitte	von	10	cm	innerer	Durchmesser,	0,8	cm	Wandstärke, 20 cm Länge
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	» 50 » »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	» 100 » »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	» 150 » »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	» 200 » »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	» 250 » »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	» 300 » »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	» 350 » »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	» 400 » »

II. Serie:

2	Stück	Rohrabschnitte	von	12	cm	innerer	Durchmesser,	0,8	cm	Wandstärke, 20 cm Länge
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	» 50 » »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	» 100 » »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	» 150 » »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	» 200 » »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	» 250 » »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	» 300 » »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	» 350 » »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	» 400 » »

III. Serie.

2	Stück	Rohrabschnitte	von	15	cm	innerer	Durchmesser,	0,8	cm	Wandstärke,	20 cm Länge
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	50 » »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	100 » »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	150 » »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	200 » »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	250 » »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	300 » »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	350 » »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	400 » »

Sämtliche Rohrabschnitte wurden auf Drehbänke gespannt, und auf die gewünschte Länge ebenflächig und ⊥ zur Rohraxe abgeschnitten. Eine Nachappretur der Endfläche war durchwegs entbehrlich.

c. Schmiedbares Eisen.

Material-Lieferant: HH. Petits-fils de F. de Wendel & Comp. in Hayange.

α. Rundeisen.

Geliefert wurden 20 Stück Schweiss-, 20 Stück Flusseisen-Rundstäbe mit

2,00, 2,50, 3,00, 3,50, 4,00, 4,50 und 5,00 *cm* Dicke
in Längen von 10 bis 120 *cm*.
Total! 40 Einzelversuche.

Diese Rundstäbe wurden auf beziehungsweise
1,78, 2,28, 2,78, 3,28, 3,77, 4,28 und 4,79 *cm* Dicke
abgedreht und exakt ⊥ zur Stabaxe abgestochen.

β. Winkeleisen.

Einfaches Winkeleisen; deutsches N.-Profil Nr. 10^a mit 14,8 *kg* pro *l m*.
Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitt und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.

Doppel-Winkel (⌶); deutsches N.-Profil Nr. 8^a mit 9,5 *kg* pr. *l.m.*
Geliefert wurden zusammen 22 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.

Kreuzprofil aus 4 Winkeln ╬; deutsch. N.-Profil Nr. 6ᵃ mit à 5,3 *kg* pro *l. m.*
Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.
Total: 70 Einzelversuche.

γ. T-*Eisen.*

Das breitfüssige T-Eisen; deutsch. N.-Profil Nr. 12 : 6 mit 13,8 *kg* pro *l. m.*
Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte u. z. je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.

Kreuzprofil aus 2 breitf. T-Eisen; deutsches N.-Profil Nr. 9 : 4½ mit 7,9 *kg* pro *l m.*
Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 0,60, 0,90, 1,20, 1,80, 2,40 und 3,00.
Total: 48 Einzelversuche.

δ. U-*Eisen.*

Das deutsche N.-Profil Nr. 14 mit 15,9 *kg* pro *l m.*
Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 0,80, 1,20, 1,60, 2,40, 3,20 und 4,00;
das Doppel-U-Eisen (⊐⊏); deutsches N.-Profil Nr. 8 mit 8,6 *kg* pro *l m.*
Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 0,80, 1,20, 1,60, 2,40. 3,20 und 4,00;
somit total: 48 Einzelversuche.

ε. Doppelt T-*Eisen.*

Das deutsche N.-Profil Nr. 18 mit 21,9 *kg* pro *l m.*
Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 0,50, 0,75, 1,00, 1,50, 2,00 und 2,50;
somit total: 24 Einzelproben.

Material-Lieferant: Burbacher Hütte bei Malstatt.

α. Winkeleisen.

Einfaches Winkeleisen; deutsches N.-Profil Nr. 10.
Geliefert wurden 12 Abschnitte. Schweisseisen, in Längen von 80 bis einschl. 400 *cm.*

⌶-Doppel-Winkeleisen; zusammengenietet aus deutschen N.-Profilen Nr. 8.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 100 bis einschl. 500 *cm.*

Kreuzprofil aus 4 Winkeleisen; Zusammengenietet aus deutschen N.-Profilen Nr. 6ª.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 100 bis einschl. 500 *cm.*

β. T-*Eisen.*

Breitfüssiges T-Eisen; Burbacher Profil Nr. 27.
Geliefert wurden 11 Abschnitte, Schweisseisen in Längen von 90 bis einschl. 4,30 *cm.*

Kreuzprofil aus 2 T-Eisen; Zusammengenietet aus Burbacher Profilen Nr. 16.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 100 bis einschl. 439 *cm.*

γ. U-*Eisen.*

Deutsches Normalprofil Nr. 14 mit 15,9 *kg* Gewicht pro *l m.*
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 80 bis einschl. 400 *cm.*

Doppel-U-Eisen; Zusammengenietet aus 2 U-Eisen, deutsche N.-Profile Nr. 8.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 80 bis einschl. 400 *cm.*

δ. ⌶-*Eisen.*

Doppelt T-Eisen; Deutsches N.-Profil Nr. 12.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 50 bis einschl. 250 *cm.*

Doppelt T-Eisen; Deutsches N.-Profil Nr. 17.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 80 bis einschl. 400 *cm.*

Material-Lieferant: Eisenwerk Kaiserslautern.

Breitfüssiges T-Eisen; Burbacher Profil Nr. 24; 1 Stab; Schweisseisen, 560 *cm* Länge.

U-Eisen; Schweisseisen, 1 Stab von 560 *cm* Länge.

⊥⊥-Eisen; Schweisseisen, zusammengenietet; 1 Stab von 560 *cm* Länge.

Sämtliche Stäbe der Kategorie »schmiedbares Eisen« wurden gerade gerichtet, die Endflächen senkrecht zur Stabaxe abgeschnitten und abgeschliffen, so dass eine tadellose Anlagerung derselben an die Druckflächen der Festigkeitsmaschine erreicht wurde.

3. Einspannung der Probekörper und Art der Versuchsausführung.

a. Bauholz.

Versuche aus dem Jahre 1883.

Anlässlich der Durchführung der Arbeiten für die schweiz. Landesausstellung vom Jahre 1883 bestand die Absicht, die Druckversuche an Holzprismen mit mehr als 50 *cm* Länge, mit einer Aufnahme der Grösse und Richtung der Durchbiegung in der Prismenmitte zu verbinden. Vorversuche haben indessen darüber belehrt, dass selbst bei gleichem Materiale und gleicher Prismenlänge die Grösse und Richtung der Formänderung von Zufälligkeiten, in erster Linie von der Beschaffenheit, Anzahl und Anordnung der Astknoten abhängig sei und selbst bei astreinem Holz die Grösse der Durchbiegung sich nicht proportional der Belastung ändere. In Anbetracht dieser Umstände wurde auf die Aufnahme der Formänderung verzichtet und wir beschränkten die Arbeit auf die Ermittlung der Grösse der Abnahme der Druckfestigkeit (Würfelfestigkeit) des Holzes bei wachsender Prismenlänge.

Ähnlich den Prismen zur Erhebung der Elasticitäts-Koeffizienten des Holzes auf Druck, wurden auch die den Knickungsproben unterworfenen Prismen armiert, d. h. auf die Druckflächen der Prismen wurden centrisch ca. 1,8 *cm* starke,

ebene Schmiedeisenplatten aufgeschraubt, die in napfartigen Höhlungen der gusseisernen, auf die Druckplatten der Festigkeitsmaschine aufgeschraubten Aufsätze passten. Jedes derart armierte Prüfungsobjekt in die Maschine gehängt, ist zunächst auf 5 *t* belastet worden; hierauf wurden die Stellschrauben der Druckplatten satt, d. h. derart angezogen, dass eine Bewegung der Lagerflächen während des Versuches ausgeschlossen war und nun ist allmälig steigernd so lange Druck geübt worden, bis entweder eine Durchbiegung oder Materialzerstörung durch lokale Ineinanderpressung der Fasern mit oder ohne vorangegangener Durchbiegung eingetreten ist.

Sämtliche Versuche wurden auf der Werder'schen Festigkeitsmaschine ausgeführt. Protokolliert wurde die Grösse der Knickungskraft; die allgemeine Form des deformierten Balkens; in besondern Fällen die Richtung der Durchbiegung bezw. auch die Lage jener Querschnitte, in welchen Ineinanderpressen der Fasern stattgefunden hat.

Versuche aus den Jahren 1888, 1894 und 1895.

Die versuchsgerecht hergerichteten Balken wurden ohne Armierung ihrer Endflächen in der Axe der Festigkeitsmaschine gehängt. Die Druckplatten der Maschine gewährten freie Beweglichkeit der Balkenenden oder sie konnten vermittelst 4 kräftigen Stellschrauben fixiert werden, so dass eine Tangentenänderung der Axe der Balkenenden während der Versuchsausführung ausgeschlossen blieb.

Fig. 9 stellt die Spannvorrichtung mit freier Beweglichkeit der Balkenenden, die s. g. Spitzenlagerung, dar. Wie die Erfahrung lehrt, arbeiten diese Spitzenlager nahezu vollkommen beweglich; sie arbeiten derart korrekt, dass eine Übereinstimmung der Versuchsresultate mit den Ergebnissen der Rechnung nach Euler's Formel erst dann erzielt wurde, als für die freie Knickungslänge der Prismen

$$l = l_0 + 2a$$

eingeführt wurde.

Sämtliche Prismen von mehr als 2,0 *m* Länge wurden in der Regel in den Dritteln unter Anwendung eines Gegengewichtes von zusammen $^4/_5$ des Balkengewichtes ausbalanciert. Bei der Versuchsreihe vom Jahre 1894 und 95 wurden sämtliche Balken

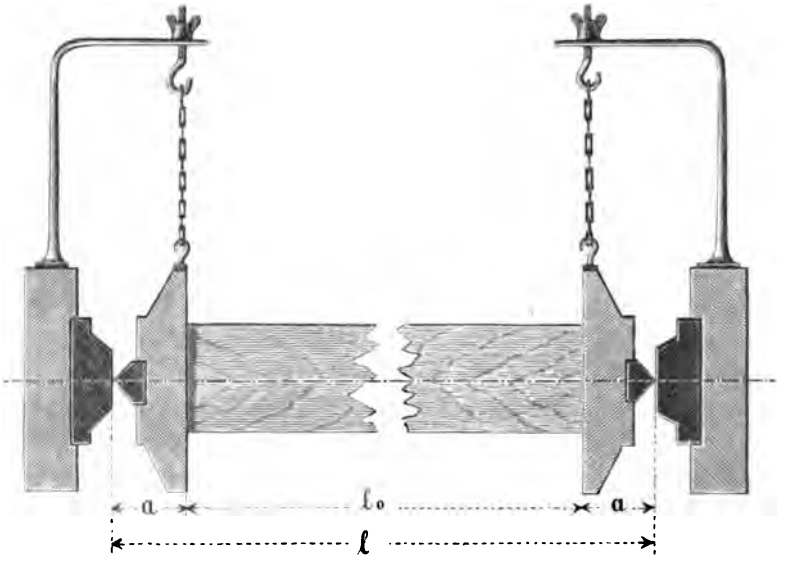


Fig. 9.

von unter 2,0 *m* Länge in der Mitte aufgehängt und mit ca. $^3/_4$ des Balkengewichts ausbalanciert. Auf diese Art wurde das Biegungsmoment des Eigengewichtes der Prismen aufgehoben. Ursprünglich benutzten wir leichte Flaschenzugketten, später dünne Seile, die einerseits an geeigneten Bügeln, die die Balken trugen, befestigt wurden, über Rollen liefen und anderseits Gewichtsschalen trugen

Vor dem Einlegen der Versuchsobjekte in die Maschinen wurde deren Oberflächenbeschaffenheit festgestellt; sie wurden sodann gewogen, gemessen und die Güte der Appretur, namentlich jene der Endflächen kontrolliert. Hierauf wurden die Balken in die Axe der Maschine eingelegt, ausbalanciert und die Lage derselben mittelst Libelle verifiziert.

Um ein Bild über den Verlauf und die Vorgänge während der Versuchsausführung zu gewinnen, wurde bei Balken von über 2,0 *m* Länge die Lagenänderung der Stabmitte nach 2 senkrecht zu einander stehenden Richtungen für jede Laststufe erhoben und protokolliert. Belastet wurde je nach Balkenlänge und Art der Einspannung verschieden. Anfänglich wurden Laststufen von grösseren Intervallen gewählt; gegen das Ende des Versuches reduzierten sich diese auf 0,250 bis 0,125 *t*. Auf eine bestimmte Dauer der Einwirkung der Last wurde nur dann

Rücksicht genommen, wenn Messungen der Formveränderungen vorgenommen wurden. In solchen Fällen wurde die Last 15 Sek. lang am Stabe belassen, die Lagenänderung der Mitte der Stabaxe in horizontalem und vertikalem Sinne abgelesen und nun unverzüglich weiter belastet.

Das Verhalten der Balken in der Maschine war ein ausserordentlich wechselndes. Oft stand der Balken bis zur Grenze seiner Tragkraft fast unbeweglich und verlor dieselbe sodann plötzlich. In den meisten Fällen stellte sich bei langen, seltener bei kurzen Stäben schon bei einer relativ geringfügigen Anstrengung, eine dem unbewaffneten Auge merkliche Formänderung ein, welche sodann gegen das Ende progressiv wuchs. Die Richtung der Durchbiegung wechselte derart, dass nichts allgemein Gültiges gesagt werden kann. Hier spielen die Astknoten, Schwindrisse, die zufällige Lage der Markröhre zur Druckrichtung, bezw. zur Maschinenaxe, die Unhomogenitäten bedingt durch Wuchsverhältnisse des Holzes eine ausschlaggebende Rolle. Die meisten Balken hatten wie erwähnt angenähert quadratischen Querschnitt und fiel deren Biegungsrichtung in die Richtung der Diagonalebene oder deren Nähe. Selten ist vorgekommen, dass sich das Holz ausschliesslich in horizontaler oder vertikaler Richtung, also senkrecht zu den Begrenzungsflächen durchgebogen hat.

Balken mit einem massgebenden Längenverhältnis (l : k) grösser als 100 trugen den Charakter vorwiegend elastischer Körper, d. h. die Formänderung ist nach Entfernung der Belastung der Hauptsache nach wieder verschwunden. Die kurzen Balken trugen dagegen den Charakter vorwiegend unelastischer Körper; sie sind der Hauptsache nach unter der Erscheinung des Ineinanderpressens der Fasern geknickt; selten sind Aufspaltungen oder eigentliche Querbrüche vorgekommen.

b. Gusseisen.

Ähnlich dem Arbeitsvorgange bei Durchführung der neuen Knickungsversuche mit Bauhölzern war jener bei Ausführung der Knickungsproben mit den gusseisernen Rohrabschnitten organisiert. Die versuchsgerecht hergerichteten Rohrabschnitte wurden zunächst gewogen, ausgemessen und ohne Armierung ihrer Endflächen in die Axe der Festigkeitsmaschine gehängt.

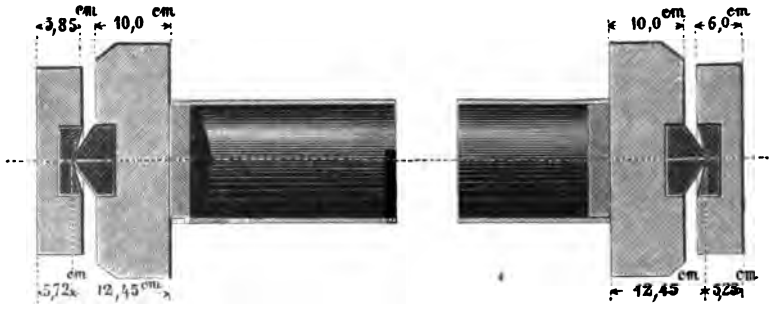


Fig. 10.

Die Konstruktion der Druckplatten geht aus Fig. 10 hervor. Man sieht die mit Spitzenkörnern ausgerüsteten, beweglichen Druckplatten trugen auswechselbare, centrisch aufgeschraubte, cylindrische Ansätze, deren Durchmesser mit etwas Spiel der inneren Weite der Probekörper der Versuchsreihen angepasst waren. Da der Durchmesser der cylindrischen Ansätze der Druckplatten mit der innern Rohrweite nicht immer befriedigend übereinstimmte, mussten die Probekörper den Rohrwandstärken und den zufälligen Spielräumen entsprechend, mit Papier oder Holzspähnen unterlegt, in die Maschine gehängt werden. Auf diese Weise war eine centrische Lage der Rohrenden in der Maschine erreicht. Dass trotz diesen Vorsichtsmassregeln die Axe der Rohrabschnitte nicht immer vollkommen befriedigend in die Maschinenaxe fiel, ist selbstredend.

Das Biegungsmoment des Eigengewichtes der Rohrabschnitte von 2,0 und mehr Meter Länge wurde ähnlich wie beim Holze durch angehängte Gewichte aufgehoben.

Um ein Bild über den Verlauf der Biegungserscheinungen während der Versuchsausführung zu gewinnen, wurden bei Rohrabschnitten von 2,0 und mehr Meter Länge die Lagenänderungen der Stabmitte nach 2 $\perp$ zu einander stehenden Richtungen für einzelne Laststufen erhoben und protokolliert. Wegen der Unzugänglichkeit der Probekörper in der Maschine, — dieselben mussten aus Vorsichtsgründen mit starken Holzbohlen umkleidet werden, — wurden in einiger Entfernung vom Versuchsobjekte, nach Anleitung der Fig. 11, Gradbogen montiert, welche vermittelst gut gespannter Schnüre die Bewegungen der Rohrmitte zu verfolgen gestatteten.

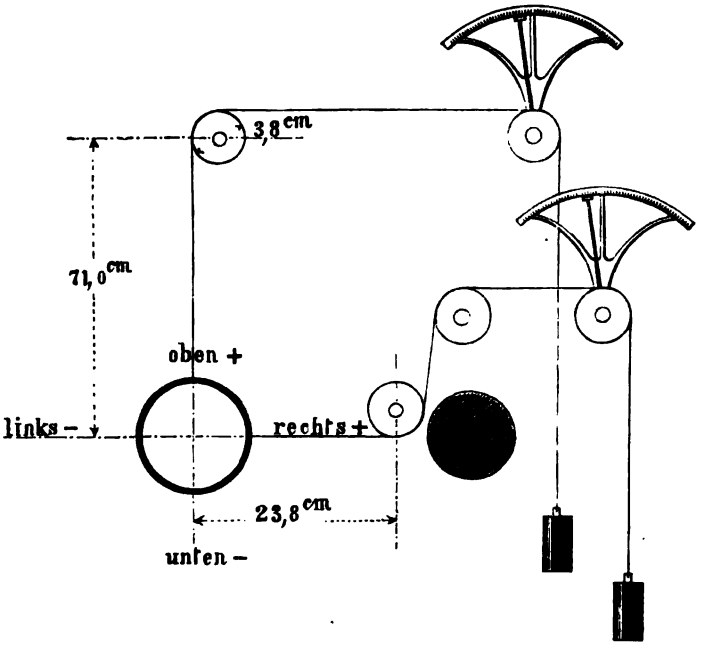


Fig. 11.

Zur Anwendung kam die grosse *Kirkaldy*-Maschine der belgischen Staatsbahnen im Arsenal zu Malines. Der Druck wurde hydraulisch mittelst der kontinuierlich wirkenden Pumpe der Maschine bewirkt. Auf eine bestimmte Dauer der Einwirkung der Last konnte nicht Rücksicht genommen werden. Es wurde, so oft die gewählte Laststufe erreicht war, abgelesen und unverzüglich weiter belastet.

Das Verhalten der Probekörper in der Maschine war nur in sofern ein verschiedenartiges, als die Rohrabschnitte unter 1,5 *m* Länge fast keine Verbiegungen erlitten und plötzlich unter heftiger Detonation in kleine Scherben zerfielen. Die langen Rohrabschnitte verbogen sich und brachen auf der gespannten Seite, unter Ablösung von Scherben, die oft das mittlere Drittel der Rohrabschnitte umfassten. Die Richtung der Verbiegung wechselte regellos; sie war offenbar durch die Excentricitätsverhältnisse des Kraftangriffs in den mittleren Rohrquerschnitten bedingt.

c. Schmiedbares Eisen.

Einrichtungen und der allgemeine Arbeitsvorgang bei Durchführung der Knickungsversuche mit Stäben in schmiedbarem Eisen entspricht bis auf die Messung der Lagenänderungen der Stabmitten bei den unterschiedlichen Laststufen, denjenigen der Bauhölzer und der Abschnitte der gusseisernen Röhren.

Zu sämtlichen Knickungsproben diente die *Werder'*sche Festigkeitsmaschine. Ihre in Kugelschalen spielenden Druckplatten wurden vertikal gestellt und fixiert. Sie trugen centrisch befestigt, gusseiserne Platten, in deren Mitte den in Fig 10 dargestellten ähnliche, gehärtete, stählerne, napfartig gehöhlte Cylinder einglassen waren. Letztere bildeten die Lagerschalen der konischen, ebenfalls gehärteten Stahlspitzen, die auf der Mitte der Rückseiten der Druckplatten montiert wurden. Die Conicität dieser Stahlkegel betrug 114°; die äusserste Spitze derselben war abgerundet.

Die Versuchsstäbe wurden centrisch und horizontal in die Maschine eingelegt. Die kurzen Stäbe waren in der Mitte, die langen in den Dritteln mittelst Seilchen gefasst, welche über Rollen liefen und an ihren freien Enden Wagschalen trugen. Durch Belastung dieser Schalen konnte Fall für Fall das Biegungsmoment des Eigengewichtes des Probestabes, ähnlich wie dies bei den Holz- und Gussproben geschah, aufgehoben werden. Die Belastung geschah anfänglich je nach Länge und Querschnittsgrösse des Stabes durch Auflegen von 5,0 bis 1,0 *t*; gegen das Ende des Versuchs wurde das Gewicht auf 0,250 bis 0,125 abgemindert. Belastet wurde so oft die Libelle des Werder'schen Wagebalkens einspielte. Eine bestimmte Dauer der Krafteinwirkung konnte nicht eingehalten werden. Die in nachstehenden Zusammenstellungen eingetragenen Biegungsrichtungen entsprechen den Erhebungen durch Visur längs den geknickten Stäben.

4. Resultate der Knickungsproben.

I. Abteilung: Bauholz.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
Knickungsversuche aus dem Jahre 1883.													
Flächenlagerung.													
1	Föhre	200,2	100,1	10,4	10,0	104,0	2,89	34,6	17,1	19,25	0,185		
2	»	200,1	100,1	9,9	10,0	99,0	2,86	35,0	c. 25,0	21,50	0,217		
							Mittel	34,8	21,1	20,38	0,201	—	0,225
3	Föhre	150,2	75,1	10,4	9,9	103,0	2,86	26,3	17,1	18,50	0,180		
4	»	150,1	75,1	10,1	10,1	102,0	2,92	25,7	c. 25,0	22,50	0,221		
							Mittel	26,0	21,1	20,50	0,201	—	0,243
5	Föhre	100,1	50,1	10,3	10,1	104,0	2,92	17,2	17,1	19,00	0,183		
6	»	100,1	50,1	10,0	10,0	100,0	2,89	17,3	c. 25,0	21,00	0,210		
							Mittel	17,3	21,1	20,00	0,197	—	0,259
7	Föhre	50,0	25,0	9,2	9,4	86,5	2,66	9,4	17,1	21,75	0,251		
8	»	50,0	25,0	10,2	10,1	103,0	2,92	8,6	c. 25,0	21,25	0,206		
							Mittel	9,0	21,1	21,50	0,229	—	0,276
9	Lärche	200,0	100,0	9,8	10,0	98,0	2,83	35,3	11,5	24,75	0,252		
10	»	199,8	99,9	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	18,9	27,00	0,278		
11	»	200,0	100,0	9,8	10,1	99,0	2,83	35,3	c. 25,0	24,25	0,245		
12	»	199,1	99,6	10,0	10,3	103,0	2,89	34,5	15,7	26,00	0,252		
13	»	198,7	99,4	10,3	10,0	103,0	2,89	34,4	16,0	25,50	0,248		
							Mittel	35,0	21,4	25,50	0,255	—	0,225
14	Lärche	149,7	74,9	9,8	10,0	98,0	2,83	26,5	11,5	26,25	0,268		
15	»	150,0	75,0	10,0	9,9	99,0	2,86	26,2	18,9	27,13	0,274		
16	»	150,1	75,1	9,9	9,9	98,0	2,86	26,3	c. 25,0	26,50	0,270		
17	»	149,6	74,8	10,2	10,2	104,0	2,95	25,4	15,7	21,00	0,202		
18	»	149,9	75,0	10,1	9,9	100,0	2,86	26,2	16,0	22,75	0,228		
							Mittel	26,1	21,4	24,72	0,248	—	0,242
19	Lärche	99,9	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	11,5	31,25	0,319		
20	»	99,7	49,9	10,0	9,9	99,0	2,86	17,4	18,9	24,75	0,250		
21	»	100,1	50,1	10,0	9,9	99,0	2,86	17,5	c. 25,0	26,83	0,271		
22	»	100,1	50,1	10,2	9,9	101,0	2,86	17,5	15,7	25,75	0,255		
23	»	99,6	49,8	10,0	10,2	102,0	2,89	17,2	16,0	26,25	0,257		
							Mittel	17,4	21,4	26,96	0,270	—	0,259

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnitts-Fläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut N_t	t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
24	Lärche	50,0	25,0	9,9	9,9	98,0	2,86	8,7	11,5	37,50	0,383		
25	»	49,9	25,0	9,9	9,9	98,0	2,86	8,7	18,9	34,50	0,352		
26	»	50,0	25,0	9,9	9,9	98,0	2,86	8,7	c. 25,0	25,75	0,263		
27	»	49,7	24,9	10,1	9,9	100,0	2,86	8,7	15,7	27,00	0,270		
28	»	49,4	24,7	9,9	9,7	96,0	2,80	8,8	16,0	28,00	0,292		
							Mittel	8,7	17,4	30,55	0,312	—	0,276
29	Rottanne	199,8	99,9	9,9	9,6	95,0	2,77	36,1	12,7	19,50	0,205		
30	»	200,2	100,1	9,9	9,7	96,0	2,80	35,8	11,4	22,50	0,234		
31	»	200,4	100,2	9,9	9,6	95,0	2,77	36,2	?	23,50	0,247		
32	»	199,5	99,8	10,1	10,1	102,0	2,92	34,2	12,8	21,00	0,206		
33	»	194,2	97,1	9,8	9,9	97,0	2,83	34,3	13,6	21,25	0,219		
34	»	199,5	99,8	9,9	9,7	96,0	2,80	35,6	15,0	18,00	0,187		
35	»	199,7	99,9	9,7	9,9	96,0	2,80	35,7	14,3	15,25	0,159		
36	»	199,6	99,8	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	14,2	16,75	0,173		
37	»	199,3	99,7	10,0	10,1	101,0	2,89	34,5	14,4	18,25	0,181		
38	»	198,0	99,0	10,0	10,0	100,0	2,89	34,3	15,2	19,25	0,193		
39	»	199,0	99,5	9,7	10,1	98,0	2,80	35,5	20,0	24,50	0,250		
							Mittel	35,2	14,3	19,96	0,205	—	0,225
40	Rottanne	150,2	75,1	9,9	9,7	96,0	2,80	26,8	12,7	21,25	0,221		
41	»	149,8	74,9	9,9	9,7	96,0	2,80	26,8	11,4	28,50	0,297		
42	»	150,0	75,0	10,0	9,8	98,0	2,83	26,5	?	24,75	0,253		
43	»	149,7	74,9	9,9	9,8	97,0	2,83	26,5	12,8	24,25	0,250		
44	»	149,7	74,9	9,9	9,7	96,0	2,80	26,8	13,6	21,25	0,221		
45	»	149,2	74,6	9,7	9,9	96,0	2,80	26,6	15,0	16,50	0,172		
46	»	149,7	74,9	10,0	9,8	98,0	2,83	26,5	14,3	17,50	0,179		
47	»	150,0	75,0	9,9	9,6	95,0	2,77	27,1	14,2	16,75	0,176		
48	»	149,0	74,5	10,2	10,3	105,1	2,95	25,3	14,4	19,00	0,181		
49	»	149,4	74,7	10,0	10,2	102,0	2,89	25,8	15,2	18,00	0,176		
50	»	149,9	75,0	10,3	9,7	99,9	2,80	26,8	20,0	25,50	0,255		
							Mittel	26,5	14,4	21,20	0,218	—	0,242
51	Rottanne	99,9	50,0	9,9	9,8	97,0	2,83	17,7	12,7	23,75	0,245		
52	»	100,2	50,1	9,9	9,6	95,0	2,77	18,1	11,4	27,25	0,287		
53	»	100,0	50,0	9,9	10,0	99,0	2,86	17,5	?	25,00	0,253		
54	»	99,8	49,9	10,2	10,0	102,0	2,89	17,3	12,8	27,75	0,272		
55	»	100,0	50,0	9,7	9,8	95,1	2,80	17,9	13,6	22,50	0,236		
56	»	99,5	49,8	9,8	9,9	97,0	2,83	17,6	15,0	17,50	0,180		

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
57	Rottanne	99,6	49,8	9,6	10,0	96,0	2,77	18,0	14,3	17,50	0,182		
58	»	99,9	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	14,2	16,75	0,171		
59	»	100,0	50,0	9,9	9,8	97,0	2,83	17,7	14,4	20,00	0,206		
60	»	100,0	50,0	10,1	10,1	102,0	2,92	17,1	15,2	15,50	0,152		
61	»	100,1	50,1	10,1	9,9	100,0	2,86	17,5	20,0	21,50	0,215		
							Mittel	17,6	14,4	21,36	0,218	—	0,259
62	Rottanne	50,1	25,1	9,8	9,7	95,1	2,80	9,0	12,7	27,50	0,289		
63	»	50,1	25,1	9,6	9,8	94,1	2,77	9,1	11,4	36,00	0,383		
64	»	50,0	25,0	9,8	10,0	98,0	2,83	8,8	?	26,00	0,265		
65	»	49,6	24,8	9,9	9,7	96,0	2,80	8,9	12,8	37,25	0,388		
66	»	49,9	25,0	9,6	9,9	95,0	2,77	9,0	13,6	30,75	0,323		
67	»	49,7	24,9	9,6	9,9	95,0	2,77	9,0	15,0	22,50	0,237		
68	»	49,8	24,9	9,7	9,9	96,0	2,80	8,9	14,3	26,25	0,273		
69	»	50,0	25,0	9,7	9,9	96,0	2,80	8,9	14,2	19,00	0,198		
70	»	49,8	24,9	8,8	10,0	88,0	2,54	9,8	14,4	23,00	0,261		
71	»	49,4	24,7	9,9	9,8	97,0	2,83	8,7	15,2	26,50	0,273		
72	»	50,0	25,0	9,7	10,0	97,0	2,80	8,9	20,0	27,75	0,286		
							Mittel	9,0	14,36	27,50	0,289	—	0,276
73	Weisstanne	200,0	100,0	9,9	9,8	97,0	2,83	35,3	12,4	25,75	0,266		
74	»	200,2	100,1	9,9	9,8	97,0	2,83	35,4	14,9	26,00	0,268		
75	»	200,0	100,0	9,9	10,0	99,0	2,86	35,0	?	17,50	0,177		
76	»	199,8	99,9	10,6	10,2	108,1	2,95	33,9	11,9	25,00	0,231		
77	»	200,0	100,0	10,2	10,5	107,1	2,95	33,9	12,7	24,00	0,224		
78	»	200,0	100,0	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	13,2	18,75	0,193		
79	»	199,7	99,9	9,9	9,9	98,0	2,86	34,9	12,5	21,50	0,219		
80	»	199,5	99,8	9,9	9,8	97,0	2,83	35,3	13,8	17,75	0,183		
81	»	199,9	99,9	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	13,2	23,25	0,240		
							Mittel	34,9	13,1	22,17	0,222	—	0,225
82	Weisstanne	150,1	75,1	9,9	10,0	99,0	2,86	26,3	12,4	25,75	0,260		
83	»	150,0	75,0	9,9	9,8	97,0	2,83	26,5	14,9	25,00	0,258		
84	»	149,8	74,9	10,0	9,9	99,0	2,86	26,2	?	17,75	0,179		
85	»	150,0	75,0	10,1	10,0	101,0	2,89	26,0	11,9	21,75	0,215		
86	»	150,0	75,0	10,2	10,5	107,1	2,95	25,4	12,7	23,25	0,217		
87	»	149,9	75,0	9,9	10,0	99,0	2,86	26,2	13,2	18,25	0,184		
88	»	149,9	75,0	9,8	9,9	97,0	2,83	26,5	12,5	20,75	0,214		

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Tetmajer β_k
89	Weisstanne	149,9	75,0	9,9	9,9	98,0	2,86	26,2	13,8	19,25	0,196		
90	»	150,0	75,0	9,8	9,9	97,0	2,83	26,5	13,2	23,50	0,242		
							Mittel	26,2	13,1	21,00	0,211	—	0,242
91	Weisstanne	99,7	49,9	9,9	9,8	97,0	2,83	17,6	12,4	24,50	0,253		
92	»	100,0	50,0	9,9	9,8	97,0	2,83	17,7	14,9	24,50	0,253		
93	»	100,0	50,0	9,9	10,0	99,0	2,86	17,5	?	18,70	0,189		
94	»	100,3	50,2	10,3	10,4	107,1	2,98	16,8	11,9	24,50	0,229		
95	»	100,0	50,0	10,1	10,0	101,0	2,89	17,3	12,7	24,00	0,238		
96	»	100,0	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	13,2	19,25	0,196		
97	»	99,7	49,9	9,8	9,9	97,0	2,83	17,6	12,5	22,25	0,229		
98	»	99,8	49,9	9,8	9,9	97,0	2,83	17,6	13,8	18,25	0,188		
99	»	99,9	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	13,2	20,75	0,212		
							Mittel	17,5	13,1	21,86	0,221	—	0,259
100	Weisstanne	50,1	25,1	9,9	9,7	96,0	2,80	9,0	12,4	34,50	0,359		
101	»	50,0	25,4	9,9	9,7	96,0	2,80	9,1	14,9	30,00	0,312		
102	»	50,0	25,0	9,9	10,0	99,0	2,86	8,7	?	18,00	0,182		
103	»	49,8	24,9	9,9	10,2	101,0	2,86	8,7	11,9	30,50	0,302		
104	»	49,4	24,7	10,1	10,1	102,0	2,92	8,5	12,7	31,00	0,304		
105	»	50,2	25,1	9,8	10,0	98,0	2,83	8,9	13,2	25,40	0,259		
106	»	49,8	24,9	9,9	9,7	96,0	2,80	8,9	12,5	24,75	0,258		
107	»	49,6	24,8	9,8	9,9	97,0	2,83	8,8	13,8	26,25	0,270		
108	»	50,0	25,0	9,9	9,8	97,0	2,83	8,8	13,2	28,25	0,291		
							Mittel	8,8	13,1	27,63	0,282	—	0,270
109	Eiche	199,8	99,9	10,0	10,0	100,0	2,89	34,6	22,5	27,75	0,278		
110	»	198,2	99,1	10,1	10,6	107,1	2,92	33,9	24,7	27,25	0,254		
							Mittel	34,3	23,6	27,50	0,266	—	0,226
111	Eiche	150,1	75,1	9,9	9,9	98,0	2,86	26,3	22,5	27,50	0,281		
112	»	148,3	74,2	9,8	9,6	94,1	2,77	26,8	24,7	26,75	0,284		
							Mittel	26,6	23,6	27,13	0,283	—	0,241
113	Eiche	100,0	50,0	10,0	9,9	99,0	2,86	17,5	22,5	27,50	0,278		
114	»	99,3	49,7	10,1	10,7	108,1	2,92	17,0	24,7	26,75	0,247		
							Mittel	17,3	23,6	27,13	0,263	—	0,259
115	Eiche	50,0	25,0	10,0	10,0	100,0	0,289	8,7	22,5	33,75	0,338		
116	»	49,4	24,7	10,1	10,4	105,0	0,292	8,5	24,7	33,50	0,319		
							Mittel	8,6	23,6	33,63	0,329	—	0,276

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
Knickungsversuche aus dem Jahre 1888.													
1. Serie: *Spitzenlagerung.*													
117	Föhre	725,0	743,0	14,31	13,75	196,8	3,97	187,2	17,6*)	6,10	0,031		
118	»	725,0	743,0	13,40	13,40	179,6	3,87	192,0	17,6	5,00	0,028		
							Mittel	189,6	17,6	5,55	0,030	0,027	—
119	Föhre	600,0	618,0	14,35	13,75	197,3	3,97	155,7	17,6	8,25	0,042	0,041	—
120	»	500,0	518,0	13,48	13,47	181,6	3,89	133,2	17,6	11,00	0,061	0,056	—
121	»	400,0	418,0	13,45	13,40	180,2	3,87	108,0	17,6	17,25	0,096	0,085	—
122	Föhre	300,0	318,0	13,38	13,36	178,8	3,86	82,4	17,6	25,50	0,143		
123	»	300,0	318,0	13,24	12,88	170,5	3,72	85,5	17,6	22,80	0,134		
							Mittel	84,0	17,6	24,15	0,139	—	0,130
124	Föhre	200,0	218,0	13,46	13,40	180,4	3,87	56,3	17,6	36,00	0,200		
125	»	200,0	218,0	13,31	12,83	170,8	3,71	58,8	17,6	34,50	0,202		
126	»	200,0	218,0	14,70	13,40	197,0	3,87	56,3	17,6	37,40	0,190		
							Mittel	57,1	17,6	35,97	0,197	—	0,182
127	Föhre	120,0	138,0	14,40	13,80	198,7	3,99	34,6	17,6	43,50	0,219		
128	»	120,0	138,0	14,70	13,35	196,2	3,86	35,8	17,6	42,50	0,217		
							Mittel	35,2	17,6	43,00	0,218	—	0,225
129	Föhre	100,0	118,0	13,35	12,85	171,5	3,71	31,8	17,6	40,80	0,238		
130	»	100,0	118,0	13,22	12,84	169,7	3,71	31,8	17,6	44,00	0,259		
							Mittel	31,8	17,6	42,40	0,249	—	0,231
131	Föhre	50,0	68,0	13,42	12,86	172,6	3,72	18,3	17,6	49,00	0,284		
132	»	50,0	68,0	14,65	13,35	195,6	3,86	17,6	17,6	60,00	0,307		
							Mittel	18,0	17,6	54,50	0,296	—	0,258
133	Föhre	20,0	38,0	14,30	13,80	197,3	3,99	9,5	17,6	52,00	0,264		
134	»	20,0	38,0	13,50	13,43	181,3	3,88	9,8	17,6	58,70	0,324		
135	»	20,0	38,0	13,33	12,84	171,2	3,71	10,2	17,6	60,00	0,350		
							Mittel	9,8	17,6	56,90	0,313	—	0,274

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
136	Lärche	725,0	743,0	13,68	13,48	184,4	3,90	190,5	17,6*)	5,60	0,030	0,027	—
137	»	600,0	618,0	13,75	13,60	187,0	3,93	157,3	17,6	7,40	0,040	0,040	—
138	»	500,0	518,0	13,43	13,35	179,3	3,86	134,2	17,6	9,90	0,055	0,055	—
139	»	400,0	418,0	13,40	13,40	179,6	3,87	108,0	17,6	14,80	0,082	0,085	—
140	Lärche	300,0	318,0	13,36	13,34	178,2	3,86	82,4	17,6	22,40	0,126		
141	»	300,0	318,0	13,86	12,57	174,2	3,63	87,6	17,6	23,00	0,132		
							Mittel	85,0	17,6	22,70	0,129	—	0,128
142	Lärche	200,0	218,0	13,40	13,38	179,3	3,87	56,3	17,6	32,50	0,181		
143	»	200,0	218,0	13,87	12,55	174,1	3,63	60,1	17,6	40,50	0,233		
144	»	200,0	218,0	13,10	13,00	170,3	3,76	58,0	17,6	41,50	0,244		
							Mittel	58,1	17,6	38,17	0,219	—	0,180
145	Lärche	120,0	138,0	13,70	13,60	186,3	3,93	35,1	17,6	49,75	0,267		
146	»	120,0	138,0	13,00	13,00	169,0	3,76	36,7	17,6	45,50	0,269		
							Mittel	35,9	17,6	47,63	0,268	—	0,223
147	Lärche	100,0	118,0	13,87	12,62	175,0	3,65	32,3	17,6	51,80	0,296		
148	»	100,0	118,0	13,90	12,55	174,4	3,63	32,5	17,6	49,80	0,286		
							Mittel	32,4	17,6	50,80	0,291	—	0,230
149	Lärche	50,0	68,0	13,89	12,60	175,0	3,64	18,7	17,6	50,00	0,286		
150	»	50,0	68,0	13,30	13,05	173,6	3,77	18,0	17,6	52,00	0,300		
							Mittel	18,4	17,6	51,00	0,293	—	0,257
151	Lärche	20,0	38,0	13,38	13,31	178,1	3,85	9,9	17,6	54,80	0,308		
152	»	20,0	38,0	13,80	13,60	187,7	3,93	9,7	17,6	59,50	0,317		
153	»	20,0	38,0	13,91	12,64	175,8	3,65	10,4	17,6	60,70	0,345		
							Mittel	10,0	17,6	58,33	0,323	—	0,274
					2. Serie: *Flächenlagerung.*								
154	Föhre	725,0	362,5	14,68	13,40	196,7	3,87	93,7	17,6*)	18,75	0,095	—	0,111
155	»	625,0	312,5	14,70	13,35	196,2	3,86	81,0	17,6	25,00	0,127	—	0,136
156	»	525,0	262,5	14,70	13,30	195,5	3,84	68,4	17,6	32,00	0,164	—	0,160

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
157	Lärche	725,0	362,5	13,27	13,00	172,5	3,76	96,4	17,6	18,25	0,106	—	0,106
158	»	625,0	312,5	13,35	12,95	172,9	3,74	83,6	17,6	26,00	0,150	—	0,131
159	»	525,0	262,5	13,25	13,03	172,6	3,77	69,6	17,6	32,30	0,187	—	0,158
160	Rot-	725,0	362,5	14,85	14,45	214,6	4,18	86,7	15,0*)	22,00	0,102		
161	tanne	720,0	360,0	14,70	14,10	207,3	4,07	88,5	15,0	22,50	0,109		
							Mittel	87,6	15,0	22,30	0,106	—	0,123
162	Rot-	620,0	310,0	14,80	14,35	212,4	4,15	74,7	15,0	29,25	0,138		
163	tanne	600,0	300,0	14,70	13,95	205,1	4,03	74,4	15,0	31,25	0,152		
							Mittel	74,6	15,0	30,25	0,145	—	0,148
164	Rot-	520,0	260,0	14,77	14,30	211,2	4,13	63,0	15,0	37,50	0,178		
165	tanne	500,0	250,0	14,70	13,95	205,1	4,03	62,0	15,0	36,50	0,178		
							Mittel	62,5	15,0	37,00	0,178	—	0,172
166	Weiss-	725,0	362,5	14,20	13,85	196,7	4,00	90,6	15,0	19,25	0,098		
167	tanne	720,0	360,0	14,33	13,17	188,7	3,81	94,5	15,0	19,90	0,105		
							Mittel	92,6	15,0	19,58	0,102	—	0,113
168	Weiss-	620,0	310,0	14,65	13,83	202,6	4,00	77,5	15,0	25,50	0,126		
169	tanne	600,0	300,0	14,08	13,17	185,4	3,81	78,7	15,0	25,50	0,138		
							Mittel	78,1	15,0	25,50	0,132	—	0,141
170	Weiss-	520,0	260,0	14,55	13,70	199,3	3,96	65,7	15,0	34,00	0,171		
171	tanne	500,0	250,0	13,85	13,03	180,5	3,76	66,5	15,0	32,00	0,177		
							Mittel	66,1	15,0	33,00	0,174	—	0,165

3. Serie: *Bestimmung der Elasticitätskoeffizienten und der Druckfestigkeit des Versuchsmaterials.*

										Nt	β_d	γ_d	ε_d
172	Föhre	20,0	—	—	—	197,3	—	—	17,6**)	52,10	0,264	0,126	101,6
173	»	20,0	—	—	—	181,3	—	—	17,6	58,55	0,323	0,118	104,6
174	»	20,0	—	—	—	171,2	—	—	17,6	59,90	0,350	—	—
									Mittel	56,85	0,312	0,122	103,1

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Rot- und 2 Weisstannenbalken.
**) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprl. Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	β_d t p. cm²	Berechnete Werte des Grenz. moduls γ_d t p. cm²	Elast.-moduls ε_d t p. cm²
175	Lärche	20,0	—	—	—	178,2	—	—	17,6*)	54,90	0,308	0,113	106,8
176	»	20,0	—	—	—	188,0	—	—	17,6	59,60	0,317	0,120	109,5
177	»	20,0	—	—	—	175,8	—	—	17,6	59,90	0,346	—	—
									Mittel	58,13	0,324	0,117	108,2
178	Rottanne	25,0	—	—	—	201,1	—	—	15,0**)	61,90	0,308	—	—
179	»	25,0	—	—	—	204,4	—	—	15,0	59,50	0,291	—	—
180	»	25,0	—	—	—	213,4	—	—	15,0	59,10	0,277	—	—
181	»	25,0	—	—	—	213,1	—	—	15,0	54,55	0,256	—	—
									Mittel	58,67	0,283	—	—
182	Weisstanne	25,0	—	—	—	182,1	—	—	15,0**)	61,35	0,337	—	—
183	»	25,0	—	—	—	185,4	—	—	15,0	51,00	0,275	—	—
184	»	25,0	—	—	—	216,1	—	—	15,0	55,50	0,257	—	—
185	»	25,0	—	—	—	202,9	—	—	15,0	57,25	0,282	—	—
									Mittel	56,28	0,288	—	—

Knickungsversuche aus dem Jahre 1894.

Spitzenlagerung.

										N t	$\frac{\beta}{k}$	$\frac{\beta}{k}$	$\frac{\beta}{k}$
186	Föhre	629,9	648,6	13,16	13,36	175,8	3,80	170,7	15,5†)	6,38	0,036	0,034	—
187	»	529,4	548,1	13,10	13,35	174,9	3,79	144,6	15,5	8,55	0,049	0,048	—
188	»	410,0	428,6	13,79	14,23	186,2	3,99	107,4	15,5	13,75	0,074	0,085	—
189	»	220,0	238,6	14,00	14,11	197,5	4,05	58,9	15,5	31,75	0,167	—	0,179
190	»	140,3	158,9	14,22	14,11	200,6	4,08	38,9	15,5	32,00	0,160	—	0,218
191	»	99,8	118,4	13,89	14,28	198,3	4,01	29,5	15,5	40,80	0,205	—	0,236
192	»	70,1	35,1	13,75	14,24	195,8	3,97	8,8	15,5	45,00	0,230	—	0,276
193	»	50,2	25,1	14,22	13,74	195,4	3,97	6,3	15,5	46,50	0,238	—	0,281

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.
**) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Rot- und 2 Weisstannenbalken.
†) Mittel aus 3 Versuchen; entsprechend den 3 bezogenen Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
194	Föhre	14,50	7,3	14,29	14,08	201,2	4,07	1,8	15,5	58,00	0,288		
195	»	14,20	7,1	14,19	14,08	199,8	4,07	1,7	15,5	50,00	0,250		
196	»	13,40	6,7	13,24	13,20	174,8	3,81	1,8	15,5	55,50	0,318		
197	»	14,10	7,1	13,90	14,22	197,7	4,02	1,8	15,5	53,00	0,268		
							Mittel	1,8	15,5	54,12	0,281	—	0,290
198	Lärche	630,3	648,9	15,10	15,24	230,1	4,36	148,8	15,1*)	12,10	0,053	0,045	—
199	»	529,7	548,3	14,64	15,25	223,3	4,23	129,6	15,1	15,50	0,069	0,059	—
200	»	410,4	429,0	15,25	15,26	232,7	4,41	97,3	15,1	26,60	0,114	—	0,104
201	»	329,8	348,4	15,15	15,39	233,2	4,38	79,5	15,1	29,60	0,127	—	0,139
202	»	240,0	258,6	15,33	15,02	230,3	4,34	59,6	15,1	53,60	0,233	—	0,177
203	»	140,0	158,6	15,80	15,58	246,2	4,50	35,2	15,1	57,50	0,233	—	0,225
204	»	97,2	115,8	15,13	15,12	228,7	4,37	26,5	15,1	56,10	0,245	—	0,242
205	»	69,8	34,9	15,62	15,63	244,1	4,51	7,7	15,1	66,80	0,274	—	0,278
206	»	50,2	25,1	15,58	15,50	241,5	4,48	5,6	15,1	75,75	0,314	—	0,282
207	»	15,5	7,8	15,33	14,98	229,6	4,33	1,8	15,1	78,80	0,343		
208	»	15,2	7,6	15,17	15,35	232,9	4,38	1,7	15,1	73,00	0,314		
							Mittel	1,8	15,1	75,90	0,329	—	0,290
209	Rottanne	630,7	649,3	12,57	12,49	157,0	3,61	179,9	14,2	6,25	0,040	0,030	—
210	»	530,7	549,3	12,53	12,56	157,4	3,62	151,7	14,2	8,62	0,055	0,043	—
211	»	410,5	429,1	11,46	11,47	131,4	3,31	129,6	13,0	7,50	0,057	0,059	—
212	»	330,3	348,9	11,54	11,99	138,4	3,33	104,8	10,7	12,00	0,087	0,089	—
213	»	240,2	258,8	11,58	11,43	132,4	3,30	77,1	13,0	18,40	0,139	—	0,143
214	»	140,1	158,7	11,81	12,17	143,7	3,41	46,5	10,7	31,00	0,216	—	
215	»	100,0	118,6	12,95	12,58	162,9	3,64	32,6	14,9	40,00	0,246	—	0,230
216	»	96,6	115,2	12,57	12,58	158,1	3,63	31,7	14,2	42,10	0,266	—	0,232

*) Wie bei Föhre.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
217	Rottanne	69,8	88,4	12,13	11,84	143,6	3,42	25,8	10,7	32,50	0,226	—	0,243
218	»	49,8	68,4	12,03	12,09	145,4	3,48	19,7	10,7	32,00	0,220	—	0,255
219	»	11,6	5,8	11,48	11,37	130,5	3,29	1,8	13,0	37,50	0,287		
220	»	11,9	7,5	11,98	12,00	143,8	3,46	1,7	10,7	40,50	0,282		
221	»	12,7	6,4	12,58	12,60	158,5	3,64	1,8	14,2	49,00	0,309		
							Mittel	1,8	12,6	42,33	0,293	—	0,289
222	Weisstanne	630,2	648,8	14,97	15,11	226,2	4,33	149,8	15,0*)	9,75	0,043		
223	»	629,8	648,4	13,03	12,93	168,5	3,74	173,4	15,0	5,75	0,034		
							Mittel	161,6	15,0	7,75	0,039	0,038	—
224	»	529,9	548,5	15,02	15,08	226,5	4,34	126,4	15,0	13,10	0,058		
225	»	529,4	548,0	12,93	12,62	163,2	3,65	150,1	15,0	8,30	0,051		
							Mittel	138,3	15,0	10,70	0,055	0,052	—
226	»	409,8	428,6	13,04	12,98	169,3	3,75	114,3	15,0	13,10	0,077		
227	»	410,0	428,6	14,52	14,36	208,5	4,15	103,3	15,0	15,50	0,074		
							Mittel	108,8	15,0	14,30	0,076	0,083	—
228	»	330,1	348,7	15,22	15,18	231,0	4,39	79,4	15,0	30,10	0,130		
229	»	330,0	348,6	15,78	15,92	251,2	4,56	76,4	15,0	25,50	0,102		
							Mittel	77,9	15,0	27,80	0,116	—	0,142
230	»	241,6	260,2	15,09	15,03	226,8	4,34	60,0	15,0	28,50	0,126		
231	»	220,0	238,6	12,91	13,06	168,6	3,73	64,0	15,0	29,00	0,172		
							Mittel	62,0	15,0	28,75	0,149	—	0,173
232	»	140,5	159,2	16,02	15,89	254,6	4,59	34,7	15,0	45,25	0,178		
233	»	139,8	158,4	14,90	14,80	220,5	4,28	37,0	15,0	44,00	0,200		
							Mittel	35,9	15,0	44,63	0,189	—	0,223
234	»	96,0	114,6	15,04	14,95	224,8	4,32	26,5	15,0	53,70	0,239		
235	»	100,0	118,6	15,18	15,05	228,5	4,35	27,3	15,0	49,50	0,217		
							Mittel	26,9	15,0	51,60	0,228	—	0,241
236	»	70,2	35,1	14,90	14,75	219,8	4,26	8,2	15,0	49,00	0,223	—	0,277
237	»	50,1	25,0	15,08	15,00	226,2	4,34	5,8	15,0	57,00	0,252		
238	»	50,1	25,1	14,91	14,78	220,4	4,27	5,9	15,0	50,00	0,227		
							Mittel	5,9	15,0	53,50	0,240	—	0,282

*) Wie bei Föhre und Lärche.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte: b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft: absolut Nt	t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach: Euler β_k	Tetmajer β_k
239	Weisstanne	14,9	7,5	15,05	14,83	223,2	4,29	1,7	15,0	58,50	0,262		
240	»	14,8	7,4	14,98	14,88	222,9	4,30	1,7	15,0	56,00	0,251		
241	»	15,8	7,9	15,90	16,08	255,7	4,60	1,7	15,0	62,50	0,244		
							Mittel	1,7	15,0	59,00	0,252	—	0,290
242	Eiche	630,7	649,3	11,84	13,05	154,5	3,42	189,9	15,6*)	3,70	0,024	0,027	—
243	»	530,3	548,9	11,72	13,04	152,8	3,39	161,6	14,8	5,60	0,037	0,038	—
244	»	410,4	429,0	11,86	12,25	145,3	3,43	125,1	22,2	9,50	0,065	0,063	—
245	»	325,5	344,1	11,66	11,67	136,1	3,37	102,1	15.6	13,20	0,097	0,095	—
246	»	240,0	258,6	11,79	12,86	151,6	3,41	75,8	22,2	20,00	0,132	—	0,146
247	»	140,1	158,7	11,68	13,02	152,1	3,36	47,2	14,8	34,00	0,223	0,202	—
248	»	69,8	88,4	11,64	12,86	149,7	3,36	26,3	14,8	41,30	0,276		
249	»	50,0	68,6	11,87	13,03	154,7	3,43	20,0	14,8	45,25	0,292		
							Mittel	23,2	14,8	43,28	0,284	—	0,248
250	»	11,8	5,9	11,62	11,60	134,8	3,35	1,8	15,6	61,75	0,458		
251	»	11,8	5,9	11,93	12,28	146,5	3,45	1,7	22,2	45,00	0,307		
252	»	12,9	6,5	11,66	12,90	150,4	3,37	1,9	15,6	44,00	0,293		
							Mittel	1,8	17,8	50,25	0,353	—	0,290

Knickungsversuche aus dem Jahre 1895.

Spitzenlagerung.

1. Serie: Gemäss Arbeitsprogramm für die Genfer Landesausstellung; Materiallieferant: *Forstverwaltnng des Kt. Wallis* (Brieg).

253	Föhre	522,0	541,2	14,82	14,86	220,2	4,28	126,4	13,3**)	13,25	0,060	0,062	—
254	Föhre	470,0	489,2	15,02	15,00	225,3	4,34	112,7	13,3	15,20	0,067	0,078	—
255	Föhre	380,2	399,4	14,82	14,82	219,6	4,28	93,3	13,3	21,70	0,099	—	0,112

*) 1 Versuch; entsprechend einem bezogenen Balken.

**) Mittel aus 2 Versuchen entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut N_t	t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
256	Föhre	199,9	219,1	15,00	15,03	225,5	4,34	50,5	13,3	43,25	0,192	—	0,195
257	»	150,0	169,2	15,01	15,97	224,7	4,34	39,0	13,3	47,80	0,213	—	0,217
258	»	74,9	37,5	15,01	15,01	225,3	4,34	8,6	13,3	66,40	0,295	—	0,276
259	»	15,0	7,5	14,75	14,78	218,0	4,26	1,8	13,3	78,80	0,361	—	0,290
260	Lärche	522,3	541,5	14,83	14,83	219,9	4,29	126,2	15,1*)	11,35	0,052	0,062	—
261	»	470,0	489,2	15,00	15,02	225,3	4,34	112,7	15,1	16,20	0,072	0,078	—
262	»	380,2	399,4	14,43	14,42	208,1	4,17	95,8	15,1	16,75	0,080	—	0,107
263	»	200,0	219,2	15,00	15,00	225,0	4,34	50,5	15,1	41,40	0,184	—	0,195
264	»	150,1	169,3	14,97	15,00	224,6	4,33	39,1	15,1	51,40	0,228	—	0,217
265	»	74,7	37,4	15,01	15,00	225,2	4,34	8,6	15,1	63,50	0,282	—	0,276
266	»	14,9	7,5	14,77	14,80	218,6	4,27	1,8	15,1	83,30	0,381	—	0,290
267	Rottanne	522,1	541,3	14,81	14,84	219,8	4,28	126,5	13,1*)	15,20	0,069	0,062	—
268	»	470,2	489,4	15,00	15,03	225,5	4,34	112,8	13,1	16,20	0,072	0,078	—
269	»	380,2	399,4	14,82	14,79	219,2	4,27	93,5	13,1	26,00	0,119	—	0,112
270	»	200,2	219,4	14,97	14,96	224,0	4,32	50,8	13,1	45,30	0,202	—	0,194
271	»	122,3	141,5	14,81	14,75	218,4	4,26	33,2	13,1	56,30	0,258	—	0,227
272	»	75,0	37,5	14,97	15,00	224,6	4,33	8,7	13,1	59,00	0,263	—	0,276
273	»	14,8	7,4	14,78	14,79	218,6	4,27	1,7	13,1	68,70	0,314	—	0,290
	2. Serie: Gemäss Arbeitsprogramm für die Genfer Landesausstellung. Materiallieferant: *Forstverwaltung des Kt. Waadt.*												
274	Rottanne	600,1	619,3	14,99	14,99	224,7	4,33	143,0	14,4*)	15,65	0,070	0,048	—
275	»	520,0	539,2	14,77	14,77	218,2	4,27	126,3	14,4	19,10	0,088	0,062	—
276	»	379,8	399,0	14,84	14,82	219,9	4,28	93,2	14,4	27,25	0,124	—	0,112

*) Mittel aus 2 Versuchen, entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
277	Rottanne	200,0	219,2	14,54	14,51	211,0	4,19	52,3	14,4	49,50	0,235	—	0,192
278	»	150,1	75,1	14,70	14,73	216,5	4,25	17,7	14,4	69,50	0,321	—	0,259
279	»	75,0	37,5	14,68	14,68	215,5	4,24	8,8	14,4	70,80	0,329	—	0,276
280	»	14,8	7,4	14,96	14,98	224,1	4,32	1,7	14,4	86,30	0,385	—	0,290
281	Weisstanne	600,0	619,2	13,48	14,52	195,7	3,90	158,8	17,6*)	6,40	0,033	0,039	—
282	»	520,2	539,4	13,12	14,32	187,9	3,79	142,3	17,6	7,75	0,041	0,048	—
283	»	380,3	399,5	14,54	14,52	211,1	4,20	95,1	17,6	21,00	0,099	—	0.109
284	»	200,2	219,4	15,02	15,04	225,9	4,34	50,6	17,6	51,50	0,228	—	0,195
285	»	150,0	75,0	13,10	14,33	187,7	3,79	19,8	17,6	42,40	0,226	—	0,255
286	»	75,0	37,5	13,07	14,27	186,5	3,78	9,9	17,6	46,00	0,247	—	0,274
287	»	13,5	6,8	13,45	14,50	195,0	3,89	1,7	17,6	61,70	0,316	—	0,290
	3. Serie: Gemäss Arbeitsprogramm für die Genfer Landesausstellung. Materiallieferant: *Forstverwaltung des Kt. Waadt.*												
288	Föhre	594,5	613,7	14,96	15,01	224,5	4,32	142,1	16,8*)	8,63	0,038	0,049	—
289	»	520,2	539,4	14,95	15,00	224,3	4,32	124,9	16,8	10,88	0,049	0,063	—
290	»	380,2	399,4	15,02	14,99	225,1	4,33	92,2	16,8	22,25	0,099	—	0,114
291	»	199,7	218,9	15,02	14,96	224,7	4,32	50,7	16,8	39,50	0,176	—	0,195
292	»	149,9	169,1	14,94	14,98	223,8	4,32	39,1	16,8	39,50	0,176	—	0,217
293	»	74,8	37,4	14,94	14,99	224,0	4,32	8,7	16,8	47,50	0,212	—	0,276
294	»	50,1	25,1	14,97	14,95	223,8	4,32	5,8	16,8	62,50	0,279	—	0,282
295	»	15,1	7,6	14,92	15,00	223,8	4,31	1,8	16,8	79,10	0,353	—	0,290
296	Rottanne	598,0	617,2	15,00	15,02	225,3	4,34	142,2	14,6*)	14,25	0,063	0,049	—
297	»	520,0	539,2	14,60	14,61	213,3	4,22	127,8	14,6	15,40	0,072	0,061	—

*) Mittel aus 2 Versuchen, entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	t p. cm² $\frac{\beta}{k}$	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler $\frac{\beta}{k}$	Tetmajer $\frac{\beta}{k}$
298	Rottanne	380,4	399,6	15,00	15,00	225,0	4,34	92,1	14,6	28,00	0,124	—	0,114
299	»	200,2	219,4	15,03	15,00	225,5	4,34	50,6	14,6	49,50	0,220	—	0,195
300	»	150,1	169,3	14,61	14,61	213,5	4,22	40,1	14,6	54,50	0,255	—	0,215
301	»	75,1	37,6	14,64	14,60	213,7	4,22	8,9	14,6	53,30	0,249	—	0,276
302	»	50,1	25,1	14,62	14,59	213,3	4,22	5,9	14,6	63,00	0,295	—	0,282
303	»	15,0	7,5	14,61	14,59	213,2	4,22	1,8	14,6	74,10	0,348	—	0,290
304	Weisstanne	598,0	617,2	15,00	15,00	225,0	4,34	142,2	13,5*)	10,63	0,047	0,049	—
305	»	520,2	539,4	14,68	14,70	215,8	4,24	127,2	13,5	13,70	0,063	0,061	—
306	»	380,2	399,4	15,05	15,00	225,8	4,34	92,0	13,5	23,25	0,103	—	0,115
307	»	200,1	219,3	14,99	15,05	225,6	4,33	50,6	13,5	43,00	0,191	—	0,195
308	»	150,1	169,3	14,69	14,68	215,6	4,24	39,9	13,5	46,50	0,216	—	0,216
309	»	75,0	37,5	14,70	14,68	215,8	4,24	8,8	13,5	46,50	0,215	—	0,276
310	»	50,1	25,1	14,70	14,66	215,5	4,24	5,9	13,5	49,60	0,230	—	0,282
311	»	15,2	7,6	14,62	14,69	214,8	4,23	1,8	13,5	61,00	0,284	—	0,290
312	Eiche	590,2	609,4	14,42	15,01	216,4	4,17	146,1	22,7*)	11,75	0,054	0,046†	—
313	»	520,0	539,2	14,01	14,98	209,9	4,05	133,1	22,7	12,90	0,061	0,056	—
314	»	380,2	399,4	14,06	14,93	223,4	4,31	92,7	22,7	27,50	0,123	—	0,113†
315	»	200,0	219,2	14,90	14,99	223,4	4,31	50,9	22,7	49,00	0,219	—	0,194
316	»	149,8	169,0	14,01	15,02	210,4	4,05	41,7	22,7	57,00	0,271	—	0,212
317	»	74,9	37,5	13,99	15,00	209,9	4,04	9,3	22,7	66,00	0,314	—	0,275
318	»	50,0	25,0	14,02	14,98	210,0	4,05	6,2	22,7	71,00	0,338	—	0,281
319	»	15,1	7,6	13,95	14,96	208,7	4,03	1,9	22,7	80,30	0,385	—	0,290

*) Mittel aus 2 Versuchen, entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

†) Die Berechnung der Knickungsspannungen erfolgte für die Eiche nach den Formeln für das Nadelholz; daher die Divergenz der berechneten und beobachteten Werte.

Die beigeheftete Tafel enthält die graphische Darstellung der gewonnenen Resultate. Als Abscissen des orthogonalen Koordinatensystems sind die massgebenden Längenverhältnisse ($l : k$ = freie Knicklänge: kleinster Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche), als Ordinaten in t pro cm^2 diejenigen, mittleren specifischen Pressungen (Kraft : Fläche) in die Tafel eingetragen, bei welchen der Verlust des Tragvermögens eingetreten ist.

Als freie Knickungslänge = der wirksamen Stablänge wurde bei Spitzenlagerung der Körnerabstand l, vergl. Fig. 9, bei Flächenlagerung auf unwandelbaren Druckflächen die halbe Balkenlänge in Rechnung gestellt.

In vorliegender Tafel wurden nun eingetragen:

1. *Sämtliche Einzelversuche,* die als solche in den tabellarischen Zusammenstellungen auf S. 62 bis 75 aufgeführt erscheinen;
2. bei gleichartigen Versuchen, die in den Zusammenstellungen auf S. 62 bis 75 das Ziehen eines Mittelwerts gestatteten, *das massgebende Mittel sowie der Grösst- und Kleinstwert* der zugehörigen Einzelversuche;
3. für die Nadelholzsorten: Föhre, Lärche, Weisstanne und Rottanne *die Werte der Gruppenmittel* für die massgebenden Längenverhältnisse:

$\frac{l}{k}$ =				=			
0	bis einschliesslich	5;		80	bis einschliesslich	100;	
5	»	»	10;	100	»	»	120;
10	»	»	20;	120	»	»	140;
20	»	»	40;	140	»	»	160;
40	»	»	60;	160	»	»	180;
60	»	»	80;	180	»	»	200;

4. *die Generalmittel* dieser Gruppen ohne Rücksicht auf die Holzart.

Unsere Beobachtungen und die Ergebnisse der graphischen Darstellung der gewonnenen Versuchsresultate führen nun zu folgenden Folgerungen:

a. Centrischem Drucke unterworfene Balken mit Längenverhältnissen $l : k >$ ca. 100 tragen den Charakter vorwiegend elastischer Körper; d. h. nach Wegnahme der Grenzbelastung verschwindet deren Formveränderung grösstenteils.

b. Centrischem Drucke unterworfene Balken mit Längenverhältnissen $l : k <$ ca. 100 tragen den Charakter vorwiegend unelastischer Körper, d. h. nach Wegnahme der Grenzbelastung verschwindet blos ein relativ kleiner Teil der Formveränderungen.

c. Bei Balken mit vorwiegend elastischem Charakter ($l : k >$ ca. 100) treten deutlich ausgeprägte, regelmässige Biegungserscheinungen auf, welche bis zur Grenze des Tragvermögens des Balkens, den Belastungen nicht proportional, oft unregelmässig wachsen. An der Grenze des Tragvermögens treten Gefüge-Zerstörungen, die bekannten Ineinanderpressungen der Fasern, nur ausnahmsweise auf.

d. Bei Balken mit vorwiegend unelastischem Charakter ($l : k <$ ca. 100) *wechseln die äusseren Erscheinungen.* Bei längern Prismen treten oft regelmässige Biegungserscheinungen auf, oft steht der Baken fast regungslos bis zur Grenze seines Tragvermögens und schlägt sich sodann plötzlich durch. Der Verlust des Tragvermögens ist fast regelmässig mit Gefügezerstörungen, Ineinanderpressen der Fasern, die stets an Ästknoten beginnen, verbunden.

e. Die Druckfestigkeit des Holzes hängt in erster Linie von dessen Feuchtigkeit, sodann von der Beschaffenheit, Verteilung und Häufigkeit der Astknoten ab; mit wachsender Balkenlänge nimmt der Einfluss der Astknoten ab. Bei Balken mit Längenverhältnissen $l : k >$ 150 ist derselbe bereits verschwindend klein, wenn die Astknoten verteilt, gutverwachsen und nicht aussergewöhnlich zahlreich sind.

*f. Für lufttrockenes Nadelholz mit Längenverhältnissen $l : k >$ ca. 100 stimmt die Euler'*sche *Formel:*

$$\beta_k = \pi^2 \, \varepsilon \left(\frac{k}{l}\right)^2 \text{ für } \varepsilon = 105 \; t \text{ pro } cm^2$$

mit den Mittelwerten der Versuchsresultate fast vollkommen überein. Für Längenverhältnisse mit $l : k <$ ca. 100 verliert dieselbe ihre Gültigkeit und liegen die Mittelwerte der specifischen Knickspannungen um eine Gerade von der Form:

$$\beta_k = a - b \left(\frac{l}{k}\right)$$

gruppiert. Werden die Constanten a und b derart bestimmt,

dass die Grade zur Schwerlinie der Versuchsresultate wird, so findet man:

$$\beta_k = 0{,}293 - 0{,}00194 \left(\frac{l}{k}\right).$$

Die durch vorstehende Gleichung dargestellte Grade schneidet die kubische Hyperbel *Euler's* für $\varepsilon = 105$ nicht.

Bringt man in Anschlag, dass zufolge der unvermeidlichen Reibung der stählernen Spitzen der beweglichen Lagerplatten in den Pfannen der festen Lagerplatten die unter zu Grundelegung der Spitzenkörner gewonnenen Resultate eher etwas zu hoch ausgefallen sind, so wird man für den Elasticitätsmodul der Euler'schen Formel $\varepsilon = 100\ t$ pro cm^2 annehmen, dieselbe somit in Form:

$$\beta_k = 987{,}0 \left(\frac{k}{l}\right)^2$$

schreiben dürfen, welche Gleichung für $\frac{l}{k} = 100$ den nämlichen Wert liefert, als die obenstehende empirische Knickungsformel.

Für alle Fälle der Anwendung hinreichend genau wird somit für Bauholz ähnlich dem schmiedbaren Eisen, welches wie das lufttrockene Holz eine ausgeprägte Elasticitätsgrenze besitzt, die Knickspannung durch folgende Formelgruppen ausgedrückt:

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} = 1{,}8$ bis 100:

$$\beta_k = 0{,}293 - 0{,}00194 \left(\frac{l}{k}\right);$$

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} > 100$:

$$\beta_k = 987{,}0 \left(\frac{k}{l}\right)^2.$$

Bezeichnet F in cm^2 den Querschnittsinhalt des dem centrischen Drucke unterworfenen Balkens, so wird seine Tragkraft an der Grenze, bei welcher entweder Ineinanderpressen der Fasern oder Verlust des Tragvermögens wegen Durchbiegung auftritt, ausgedrückt in t:

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} = 1{,}8$ bis 100 durch:

$$N = \beta_k F = \left(0{,}293 - 0{,}00194 \frac{l}{k}\right) F;$$

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} > 100$ durch:

$$N = \beta_k F = 987{,}0 \left(\frac{k}{l}\right)^2 F = 987{,}0 \frac{J}{l^2}$$

dargestellt sein, worin $J = Fk^2$ das kleinste Trägheitsmoment der Querschnittsfläche des Balkens bedeutet.

g. Unter zu Grundelegung einer mittleren Druckfestigkeit des Nadelholzes im Betrage von:

$$\beta_d = 0{,}293 \; t \text{ pro } cm^2$$

und unter Berücksichtigung der Grundformeln:

$$\beta_k = 0{,}293 - 0{,}00194 \left(\frac{l}{k}\right) \quad \text{und} \quad \beta_k = 987{,}0 \left(\frac{k}{l}\right)^2$$

liefert die *Schwarz-Rankin*'sche Knickungsformel:

$$\beta_k = \frac{\beta_d}{1 + \eta \left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

folgende Werte des Knickungskoeffizienten η:

für $\frac{l}{k} = 10$:	$\eta = 0{,}000693$;	für $\frac{l}{k} = 90$:	$\eta = 0{,}000183$;
$= 20$:	$= 0{,}000385$;	$= 100$:	$= 0{,}000196$;
$= 30$:	$= 0{,}000274$;	$= 120$:	$= 0{,}000225$;
$= 40$:	$= 0{,}000224$;	$= 140$:	$= 0{,}000248$;
$= 50$:	$= 0{,}000194$;	$= 160$:	$= 0{,}000254$;
$= 60$:	$= 0{,}000182$;	$= 180$:	$= 0{,}000261$;
$= 70$:	$= 0{,}000177$;	$= 200$:	$= 0{,}000268$.
$= 80$:	$= 0{,}000176$;		

Hieraus geht hervor, dass der Knickungskoeffizient weder konstant, noch durch *eine* Funktion von $\frac{l}{k}$ sich ausdrücken lässt.

II. Abteilung: Gusseisen.

Lauf. No.	Urspr. Rohrlänge l_o cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
Stehender Hochofenguss von Choindez; Spitzenlagerung.											
1. Serie: nomineller, *innerer Durchmesser:* 10,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*											
1	390,0	414,9	11,60	0,788	26,7	3,83	108,3	20,00	0,75		
2	390,0	414,9	11,60	0,813	27,5	3,82	108,6	17,36	0,63		
					Mittel	3,83	108,5	18,68	0,69	0,84	—
3	350,0	374,9	11,58	0,820	27,7	3,81	98,4	33,80	1,22		
4	350,0	374,9	11,68	0,800	27,3	3,85	97,4	26,26	0,96		
					Mittel	3,83	97,9	30,03	1,09	1,02	—
5	300,0	324,9	11,60	0,818	27,7	3,82	85,1	38,46	1,39		
6	300,0	324,9	11,60	0,763	25,9	3,84	84,6	36,45	1,41		
					Mittel	3,83	84,9	37,46	1,40	1,36	—
7	250,0	274,9	11,63	0,845	28,6	3,82	72,0	52,15	1,82		
8	250,0	274,9	11,68	0,820	27,9	3,85	71,4	60,00	2,15		
					Mittel	3,84	71,7	56,08	1,99	—	1,88
9	200,0	224,9	11,70	0,875	29,8	3,84	58,6	71,90	2,41		
10	200,0	224,9	11,68	0,863	29,3	3,84	58,6	68,80	2,35		
					Mittel	3,84	58,6	70,35	2,38	—	2,55
11	150,0	174,9	11,63	0,833	28,2	3,83	45,7	100,12	3,55		
12	150,0	174,9	11,68	0,783	26,8	3,86	45,3	90,75	3,39		
					Mittel	3,85	45,5	95,44	3,47	—	3,40
13	100,3	125,2	11,90	0,842	29,2	3,92	31,9	153,00	5,24		
14	100,3	125,2	11,70	0,775	26,6	3,88	32,3	131,00	4,93		
					Mittel	3,90	32,1	142,00	5,09	—	4,45
15	50,0	74,9	11,70	0,771	26,5	3,87	19,4	186,00	7,02		
16	50,0	74,9	11,75	0,803	27,6	3,88	19,3	183,00	6,63		
					Mittel	3,88	19,4	184,50	6,83	—	5,63
17	20,0	44,9	11,60	0,774	26,6	3,83	11,7	170,00	6,39		
18	20,0	44,9	11,63	0,769	26,2	3,85	11,7	178,00	6,79		
					Mittel	3,84	11,7	174,00	6,59	—	6,43

Lauf. No.	Ursprl. Rohrlänge l_o cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut N_t	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannuug t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannuug t pro cm² nach Tetmajer β_k
					2. Serie:						
					nomineller, *innerer Durchmesser:* 12,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
19	391,0	415,9	13,53	0,820	32,8	4,52	92,0	31,53	0,96		
20	391,0	415,9	13,63	0,850	34,1	4,53	91,8	30,93	0.91		
					Mittel	4,53	91,9	31,23	0,94	1,17	—
21	350,0	374,9	13,78	0,853	34,6	4,58	81,9	43,50	1,26		
22	350,0	374,9	13,78	0,923	37,2	4,56	82,2	44,80	1,20		
					Mittel	4,57	82,1	44,15	1,23	1,46	—
23	300,0	324,9	13,55	0,760	30,5	4,53	71,7	47,35	1,55		
24	300,0	324,9	13,58	0,855	34,1	4,51	72,0	45,00	1,32		
					Mittel	4,52	71,9	46,18	1,44	—	1,87
25	250,0	274,9	13,73	0,813	32,9	4,57	60,2	75,00	2,28		
26	250,0	274,9	13,73	0,850	34,1	4,56	60,3	70,30	2,06		
					Mittel	4,57	60,3	72,65	2,17	—	2,45
27	200,0	224,9	13,60	0,775	31,2	4,54	49,5	90,00	2,88		
28	200,0	224,9	13,73	0,784	31,8	4,59	49,0	108,00	3,40		
					Mittel	4,57	49,3	99,00	3,14	—	3,13
29	150,0	174,9	13,68	0,830	33,5	4,55	38,4	126,50	3,78		
30	150,0	174,9	13,65	0,779	31,5	4,56	38,4	103,00	3,27		
					Mittel	4,56	38,4	114,75	3,53	—	3,93
31	100,0	124,9	13,75	0,875	33,1	4,58	27,3	158,50	4,79		
32	100,0	124,9	13,60	0,791	33,8	4,54	27,5	143,00	4,50		
					Mittel	4,56	27,4	150,75	4,65	—	4,87
33	50,0	74,9	13,70	0,830	33,5	4,56	16,4	185,00	5,52		
34	50,0	74,9	13,73	0,813	33,0	4,57	16,4	183,00	5,55		
					Mittel	4,57	16,4	184,00	5,54	—	5,93
35	20,0	44,9	13,60	0,818	32,8	4,53	9,9	208,00	6,34		
36	20,0	44,9	13,65	0,819	33,0	4,55	9,9	198,00	6,00		
					Mittel	4,54	9,9	203,00	6,17	—	6,62

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_o cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
					3. Serie:						
					nomineller, *innerer Durchmesser:* 15,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
37	390,3	415,2	17,10	0,963	49,0	5,72	72,6	68,95	1,41		
38	390,4	415,3	17,03	0,940	47,5	5,70	72,9	75,00	1,58		
					Mittel	5,71	72,8	71,98	1,50	—	1,82
39	350,6	375,5	17,13	0,928	47,2	5,74	65,4	81,50	1,73		
40	350,6	375,5	17,00	0,910	46,1	5,70	65,9	84,05	1,82		
					Mittel	5,72	65,7	82,78	1,78	—	2,17
41	300,4	325,3	17,01	0,888	45,0	5,71	57,0	97,95	2,18		
42	300,4	325,3	17,01	0,905	48,2	5,69	57,2	104,00	2,16		
					Mittel	5,70	5,71	100,98	2,17	—	2,64
43	250,6	275,5	17,00	1,035	51,9	5,66	48,7	129,40	2,49		
44	250,6	275,5	17,10	0,943	47,8	5,72	48,2	124,15	2,60		
					Mittel	5,69	48,5	126,78	2,55	—	3,19
45	200,0	224,9	17,03	0,943	47,7	5,70	39,5	142,50	2,99		
46	200,0	224,9	17,18	0,958	48,8	5,75	39,2	144,30	2,96		
					Mittel	5,73	39,4	143,40	2,98	—	3,85
47	150,5	175,4	17,10	0,900	45,8	5,74	30,6	169,50	3,70		
48	150,4	175,3	17,00	0,926	46,9	5,69	30,8	166,22	3,54		
					Mittel	5,72	30,7	167,85	3,62	—	4,58
49	100,0	124,9	17,08	0,950	48,1	5,71	21,9	205,30	4,27		
50	100,4	125,3	17,05	0,950	48,0	5,70	22,0	195,80	4,08		
					Mittel	5,71	22,0	200,55	4,18	—	5,38
51	50,0	74,9	17,00	0,938	47,9	5,68	13,2	246,00	5,14		
52	50,0	74,9	17,00	0,923	46,7	5,69	13,2	259,50	5,56		
					Mittel	5,69	13,2	252,75	5,35	—	6,27
53	20,0	44,9	16,95	0,943	47,3	5,67	7,9	265,50	5,61		
54	20,0	44,9	16,95	0,950	47,7	5,66	7,9	251,50	5,27		
					Mittel	5,67	7,9	258,50	5,44	—	6,84

Lauf. No.	Rohrlänge: Urspr. l_o cm	Rohrlänge: Wirksame l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft: absolut Nt	Beobachtete Knickungskraft: t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach: Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach: Tetmajer β_k
Carels, frères, Constructeurs à Gand (Belgique).											
1. Serie: nomineller, *innerer Durchmesser:* 10,0 *cm*; *Wandstärke:* 1,0 *cm.*											
55*	300,0	324,9	12,01	1,050	36,1	3,89	83,5	49,20	1,30		
56*	300,0	324,9	12,10	1,088	37,6	3,91	83,1	54,75	1,46		
					Mittel	3,90	83,3	51,98	1,38	1,43	—
57*	250,0	274,9	12,10	0,990	34,5	3,94	69,8	68,45	1,98		
58*	250,0	274,9	12,15	1,138	39,3	3,91	70,3	82,70	2,10		
					Mittel	3,93	70,1	75,58	2,04	—	1,95
59*	200,0	224,9	12,10	1,033	36,0	3,93	57,2	106,75	2,97		
60*	200,0	224,9	12,10	1,068	37,0	3,92	57,4	107,00	2,89		
					Mittel	3,93	57,3	106,88	2,93	—	2,62
61*	150,0	174,9	12,15	1,075	37,4	3,93	44,5	141,50	3,78		
62*	150,0	174,9	12,15	1,105	38,3	3,92	44,6	128,50	3,36		
					Mittel	3,93	44,6	135,00	3,57	—	3,46
63*	100,0	124,9	12,15	1,062	37,0	3,94	31,7	164,00	4,43		
64*	100,0	124,9	12,18	1,075	37,5	3,94	31,7	131,00	3,49		
					Mittel	3,94	31,7	147,50	3,96	—	4,49
65*	50,0	74,9	12,10	0,988	34,5	3,94	19,0	190,00	5,51		
66*	50,0	74,9	12,10	1,063	36,8	3,92	19,1	202,00	5,49		
					Mittel	3,93	19,1	196,00	5,50	—	5,66
67*	20,0	44,9	11,95	1,023	35,1	3,88	11,6	228,00	6,50		
68*	20,0	44,9	12,10	0,979	34,2	3,95	11,4	238,50	6,97		
					Mittel	3,92	11,5	233,25	6,74	—	6,45
2. Serie: nomineller, *innerer Durchmesser:* 12,0 *cm*; *Wandstärke:* 1,0 *cm.*											
69*	300,0	324,9	14,30	1,175	48,4	4,66	69,7	82,43	1,70		
70*	300,0	324 9	14,25	1,117	46,0	4,66	69,7	80,35	2,29		
					Mittel	4,66	69,7	81,39	2,00	—	2,07

*) Ziemlich stark excentrischer Röhrenguss.

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
71*	250,0	274,9	143,50	1,125	46,7	4,69	58,6	120,00	2,57		
72*	250,0	274,9	143,00	1,208	49,6	4,65	59,1	165,00	3,33		
					Mittel	4,67	58,9	142,50	2,95	—	2,53
73	200,0	224,9	14,30	1,083	44,9	4,69	48,0	164,50	3,66		
74	200,0	224,9	14,28	1,130	46,7	4,67	48,2	162,00	3,47		
					Mittel	4,68	48,1	163,25	3,57	—	3,22
75	150,0	174,9	14,30	1,144	47,5	4,67	37,5	193,00	4,06		
76	150,0	174,9	14,25	1,149	47,3	4,65	37,6	191,00	4,04		
					Mittel	4,66	37,6	192,00	4,05	—	4,00
77	100,0	124,9	14,30	1,150	47,5	4,67	26,7	215,00	4,53		
78*	100,0	124,9	14,30	1,138	47,0	4,67	26,7	204,00	4,34		
79*	100,0	124,9	14,30	1,175	48,4	4,66	26,8	181,00	3,74		
					Mittel	4,67	26,8	200,00	4,20	—	4,92
80	50,0	74,9	14,20	1,114	45,7	4,64	16,1	297,00	6,50		
81	50,0	74,9	14,30	1,101	45,6	4,68	16,0	243,00	5,33		
82	50,0	74,9	14,40	1,144	47,7	4,70	15,9	267,00	5,60		
83	50,0	74,9	14,20	1,091	44,9	4,65	16,1	307,50	6,85		
					Mittel	4,67	16,0	278,63	6,07	—	4,98
84	20,0	44,9	14,30	1,106	45,8	4,68	9,6	306,00	6,68		
85	20,0	44,9	14,20	1,103	45,3	4,65	9,7	293,25	6,47		
						4,67	9,7	299,63	6,58	—	6,65
					3. Serie:						
					nomineller, *innerer Durchmesser:* 15,0 *cm*; *Wandstärke:* 1,0 *cm.*						
86	300,0	324,9	17,00	1,080	54,0	5,64	57,6	123,90	2,29		
87	300,0	324,9	16,93	1,038	51,8	5,63	57,7	125,00	2,41		
					Mittel	5,64	57,7	124,45	2,35	—	2,44
88	250,0	274,9	17,10	1,038	52,3	5,69	48,3	162,80	3,11		
89	250,0	274,9	17,00	1,000	50,3	5,67	48,5	165,00	3,28		
					Mittel	5,68	48,4	163,90	3,20	—	3,19

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_o cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
90	200,0	224,9	16,95	0,988	49,5	5,65	39,8	191,00	3,86		
91	200,0	224,9	16,95	0,945	47,5	5,67	39,7	188,00	3,96		
					Mittel	5,66	39,8	189,50	3,91	—	3,82
92	150,0	174,9	17,10	1,091	54,8	5,67	30,8	223,00	4,07		
93	150,0	174,9	16,85	0,925	46,3	5,64	31,0	216,00	4,67		
					Mittel	5,66	30,9	219,50	4,30	—	4,56
94	100,0	124,9	17,10	1,113	55,8	5,67	22,0	263,00	4,71		
95	100,0	124,9	17,10	1,033	52,1	5,69	22,0	292,50	5,61		
					Mittel	5,68	22,0	277,75	5,16	—	5,38
96*	50,0	74,9	17,50	1,028	52,8	5,80	12,9	300,00	5,68		
97	50,0	74,9	17,10	1,040	52,4	5,69	13,2	292,50	5,58		
					Mittel	5,75	13,6	296,25	5,63	—	6,23
98	20,0	44,9	16,70	0,893	44,4	5,60	8,0	273,00	6,15		
					Mittel	5,60	8,0	273,00	6,15	—	6,83

Rud. Böcking & Co.; Halbergerhütte, Brebach.

1. Serie: Säulenguss.

Nomineller, *innerer Durchmesser:* 10,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*

99	390,0	414,9	11,63	0,873	29,5	3,81	108,9	22,86	0,78		
100	400,0	424,9	11,68	0,910	30,8	3,82	111,2	22,42	0,73		
					Mittel	3,82	110,1	22,64	0,76	0,81	—
101	350,0	374,9	11,73	0,863	29,4	3,85	97,4	35,00	1,19		
102	350,0	374,9	11,73	0,860	29,3	3,85	97,4	33,73	1,15		
					Mittel	3,85	97,4	34,37	1,17	1,04	—
103	300,0	324,9	11,65	0,843	28,6	3,83	84,8	40,00	1,40		
104	300,0	324,9	11,70	0,880	29,9	3,84	84,6	39,30	1,31		
					Mittel	3,84	84,7	39,65	1,36	1,38	—
105	250,0	274,9	11,70	0,875	29,8	3,84	71,6	60,00	2,01		
106	250,0	274,9	11,70	0,838	28,6	3,85	71,4	60,00	2,10		
					Mittel	3,85	71,5	60,00	2,06	—	1,89

Lauf. No.	Urspr. Rohrlänge l_o cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
107	200,0	224,9	11,63	0,800	27,2	3,84	58,6	65,40	2,41		
108	200,0	224,9	11,65	0,905	30,5	3,81	59,0	70,95	2,33		
					Mittel	3,83	58,8	68,18	2,37	—	2,53
109	150,0	174,9	11,70	0,908	30,8	3,83	45,7	109,00	3,54		
110	150,0	174,9	11,63	0,880	29,7	3,81	45,9	110,00	3,70		
					Mittel	3,82	45,8	109,50	3,62	—	3,37
111	100,0	124,9	11,60	0,869	29,3	3,81	32,8	120,00	4,10		
112	100,0	124,9	11,63	0,879	29,7	3,81	32,8	146,00	4,92		
					Mittel	3,81	32,8	133,00	4,51	—	4,39
113	50,0	74,9	11,70	0,836	28,5	3,85	19,5	177,00	6,21		
114	50,0	74,9	11,70	0,880	29,5	3,84	19,5	174,00	5,90		
					Mittel	3,85	19,5	175,50	6,06	—	5,62
115	20,0	44,9	11,60	0,918	30,1	3,79	11,8	192,00	6,38		
116	20,0	44,9	11,70	0,988	33,2	3,80	11,8	222,00	6,69		
					Mittel	3,80	11,8	207,00	6,54	—	6,41
					2. Serie: Säulenguss.						
					Nomineller, *innerer Durchmesser:* 12,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
117	400,0	424,9	13,78	0,938	37,8	4,55	93,4	41,10	1,09		
118	400,0	424,9	13,73	0,868	35,0	4,56	93,2	41,31	1,18		
					Mittel	4,56	93,3	41,21	1,14	1,13	—
119	350,0	374,9	13,73	0,932	37,5	4,53	82,8	58,90	1,57		
120	350,0	374,9	13,78	0,982	39,5	4,54	82,6	54,40	1,38		
					Mittel	4,54	82,7	56,65	1,48	1,44	—
121	300,0	324,9	13,65	0,973	39,2	4,49	72,4	62,10	1,59		
122	300,0	324,9	13,73	0,918	36,9	4,54	71,6	68,20	1,85		
					Mittel	4,52	72,0	65,15	1,72	—	1,87
123	250,0	274,9	13,73	0,910	35,7	4,55	60,4	89,00	2,49		
124	250,0	274,9	13,70	0,898	36,1	4,54	60,6	93,13	2,58		
					Mittel	4,55	60,5	91,07	2,54	—	2,44

Lauf. No.	Urspr. Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
125	200,0	224,9	13,75	0,908	36,6	4,55	49,4	97,50	2,66		
126	200,0	224,9	13,65	0,870	35,4	4,52	49,8	100,00	2,83		
					Mittel	4,54	49,6	98,75	2,75	—	3,11
127	150,0	174,9	13,70	0,928	37,2	4,53	38,6	124,00	3,33		
128	150,0	174,9	13,73	0,913	36,8	4,54	38,5	130,50	3,56		
					Mittel	4,54	38,6	127,25	3,45	—	3,92
129	100,0	124,9	13,75	0,928	37,3	4,55	27,5	151,00	4,05		
130	100,0	124,9	13,70	0,866	34,9	4,55	27,5	172,00	4,93		
					Mittel	4,55	27,5	162,00	4,49	—	4,86
131	50,0	74,9	13,73	0,833	33,7	4,57	16,4	215,00	6,38		
132	50,0	74,9	13,70	0,881	35,5	4,54	16,5	221,00	6,23		
					Mittel	4,56	16,5	218,00	6,31	—	5,92
133	20,0	44,9	13,73	0,923	37,3	4,54	9,9	228,00	6,11		
134	20,0	44,9	13,80	0,906	36,5	4,57	9,8	244,50	6,70		
					Mittel	4,56	9,9	236,25	6,41	—	6,62
					3. Serie: Säulenguss.						
					Nomineller, *innerer Durchmesser:* 15,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
135	400,0	424,9	16,63	0,932	45,9	5,56	76,4	74,10	1,61		
136	400,0	424,9	16,65	0,875	43,3	5,59	76,0	61,40	1,42		
					Mittel	5,58	76,2	67,75	1,52	—	1,70
137	350,0	374,9	16,63	0,930	45,8	5,56	67,4	81,48	1,78		
138	350,0	374,9	16,70	0,945	46,7	5,58	67,2	75,00	1,61		
					Mittel	5,57	67,3	78,24	1,60	—	2,08
139	300,0	324,9	16,73	0,990	48,9	5,57	58,3	100,05	2,05		
140	300,0	324,9	16,65	0,958	47,2	5,56	58,4	95,00	2,01		
					Mittel	5,57	58,4	97,53	2,03	—	2,56
141	250,0	274,9	16,65	0,925	45,7	5,57	49,4	130,00	2,85		
142	250,0	274,9	16,60	0,865	42,7	5,57	49,4	133,00	3,12		
					Mittel	5,57	49,4	131,50	2,99	—	3,12

Lauf. No.	Urspr. Rohrlänge l_o cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
143	200,0	224,9	16,60	0,875	43,2	5,57	40,4	143,00	3,31		
144	200,0	224,9	16,63	0,863	42,7	5,58	40,3	153,00	3,58		
					Mittel	5,58	40,4	148,00	3,45	—	3,78
145	150,0	174,9	16,63	0,829	41,1	5,59	31,5	162,00	3,94		
146	150,0	174,9	16,53	0,850	41,8	5,55	31,5	167,00	4,00		
					Mittel	5,57	31,5	164,50	3,97	—	4,51
147	100,0	124,9	16,63	0,922	45,5	5,56	22,5	200,00	4,40		
148	100,0	124,9	16,63	0,920	45,4	5,56	22,5	205,90	4,54		
					Mittel	5,56	22,5	202,95	4,47	—	5,33
149	50,0	74,9	16,60	0,844	41,8	5,58	13,4	252,00	6,03		
150	50,0	74,9	16,63	0,866	43,0	5,58	13,4	253,50	5,90		
					Mittel	5,58	13,4	252,75	5,97	—	6,25
151	20,0	44,9	16,60	0,771	38,3	5,60	8,0	220,00	5,74		
152	20,0	44,9	16,60	0,830	41,1	5,58	8,0	257,00	6,25		
					Mittel	5,59	8,0	238,50	6,00	—	6,83

4. Serie: Röhrenguss.

Nomineller, *innerer Durchmesser:* 10,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*

153	400,0	424,9	11,70	0,837	28,6	3,85	110,4	21,88	0,77		
154	400,0	424,9	11,60	0,812	27,5	3,82	108,6	22,44	0,82		
					Mittel	3,84	109,5	22,16	0,80	0,82	—
155	350,0	374,9	11,73	0,875	29,8	3,85	97,4	34,55	1,16		
156	350,0	374,9	11,70	0,902	30,6	3,83	97,9	34,65	1,13		
					Mittel	3,84	97,7	34,60	1,15	1,03	—
157	300,0	324,9	11,68	0,890	30,1	3,83	84,8	45,00	1,50		
158	300,0	324,9	11,68	0,912	30,8	3,82	85,1	41,01	1,33		
					Mittel	3,83	85,0	43,01	1,42	1,37	—
159	250,0	274,9	11,70	0,865	29,4	3,84	71,6	70,00	2,38		
160	250,0	274,9	11,70	0,863	29,4	3,84	71,6	60,00	2,04		
					Mittel	3,84	71,6	65,00	2,21	—	1,89

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_o cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
161	200,0	224,9	11,60	0,825	27,9	3,82	58,9	69,25	2,48		
162	200,0	224,9	11,68	0,803	27,4	3,85	58,4	80,50	2,94		
					Mittel	3,84	58,7	74,88	2,71	—	2,55
163	150,0	174,9	11,70	0,920	31,2	3,83	45,7	109,00	3,49		
164	150,0	174,9	11,70	0,868	29,6	3,84	45,5	110,50	3,73		
					Mittel	3,84	45,6	109,75	3,61	—	3,39
165	100,0	124,9	11,63	0,859	29,0	3,82	32,7	150,00	5,17		
166	100,0	124,9	11,70	0,959	32,3	3,81	32,8	172,00	5,33		
					Mittel	3,82	32,8	161,00	5,25	—	4,39
167	50,0	74,9	11,68	0,870	29,5	3,83	19,6	180,00	6,10		
168	50,0	74,9	11,65	0,846	28,7	3,83	19,6	204,00	7,11		
					Mittel	3,83	19,6	192,00	6,61	—	5,61
169	20,0	44,9	11,60	0,841	28,4	3,82	11,8	192,00	6,76		
170	20,0	44,9	11,75	0,885	30,2	3,85	11,7	213,00	7,05		
					Mittel	3,84	11,8	202,50	6,91	—	6,41
					5. Serie: Röhrenguss.						
					Nomineller, *innerer Durchmesser:* 12,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
171	400,0	424,9	13,70	0,950	38,1	4,52	94,0	42,00	1,10		
172	400,0	424,9	13,70	0,865	34,9	4,55	93,4	43,50	1,25		
					Mittel	4,54	93,7	42,75	1,18	1,12	—
173	350,0	374,9	13,75	0,928	37,3	4,55	82,4	60,00	1,61		
174	350,0	374,9	13,70	0,940	37,7	4,52	82,9	54,55	1,45		
					Mittel	4,54	82,7	57,28	1,53	1,47	—
175	300,0	324,9	13,70	0,938	37,6	4,52	71,9	69,80	1,86		
176	300,0	324,9	13,78	0,913	36,9	4,56	71,3	68,20	1,85		
					Mittel	4,54	71,6	69,00	1,86	—	1,89
177	250,0	274,9	13,70	0,920	36,9	4,53	60,7	89,63	2,43		
178	250,0	274,9	13,78	0,943	38,0	4,55	60,4	89,70	2,36		
					Mittel	4,54	60,6	89,67	2,40	—	2,44

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_o cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
179	200,0	224,9	13,70	0,870	35,0	4,55	49,4	109,60	3,13		
180	200,0	224,9	13,70	0,853	34,4	4,55	49,4	119,50	3,47		
					Mittel	4,55	49,4	114,55	3,30	—	3,12
181	150,0	174,9	13,70	0,810	32,8	4,57	38,3	121,25	3,70		
182	150,0	174,9	13,65	0,848	34,1	4,54	38,5	129,50	3,80		
					Mittel	4,56	38,4	125,38	3,75	—	4,03
183	100,0	124,9	13,70	0,845	34,1	4,56	27,5	177,00	5,19		
184	100,0	124,9	13,70	0,846	34,2	4,55	27,5	195,00	5,70		
					Mittel	4,56	27,5	181,00	5,45	—	4,86
185	50,0	74,9	13,70	—	—	—	—	(150,00)	(?)		
186	50,0	74,9	13,70	0,893	35,9	4,54	16,5	232,00	6,46		
					Mittel	4,54	16,5	232,00	6,46	—	5,92
187	20,0	44,9	13,70	0,918	36,8	4,53	9,9	267,00	7,26		
188	20,0	44,9	13,75	0,940	37,8	4,54	9,9	234,00	6,19		
					Mittel	4,54	9,9	250,50	6,73	—	6,62
					6. Serie: Röhrenguss.						
					Nomineller, *innerer Durchmesser:* 15,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
189	400,0	424,9	16,68	0,863	42,8	5,60	75,9	80,93	1,89		
190	400,0	424,9	16,60	0,995	48,8	5,53	76,8	77,25	1,58		
					Mittel	5,57	76,4	79,09	1,74	—	1,68
191	350,0	374,9	16,68	0,993	48,9	5,56	67,4	88,25	1,81		
192	350,0	374,9	16,65	0,803	39,9	5,61	66,8	83,83	2,10		
					Mittel	5,59	67,1	86,04	1,96	—	2,10
193	300,0	324,9	16,70	1,000	49,3	5,56	58,4	115,00	2,33		
194	300,0	324,9	16,65	0,970	47,8	5,56	58,4	105,05	2,22		
					Mittel	5,56	58,4	110,03	2,28	—	2,56
195	250,0	274,9	16,60	0,900	44,4	5,56	49,4	130,00	2,93		
196	250,0	274,9	16,60	0,950	46,7	5,54	49,6	135,00	2,89		
					Mittel	5,55	49,5	132,50	2,91	—	3,12

Lauf. No.	Urspr. Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
197	200,0	224,9	16,63	0,863	42,7	5,58	40,3	152,00	3,56		
198	200,0	224,9	16,70	0,931	46,1	5,59	40,2	157,00	3,41		
					Mittel	5,59	40,3	154,50	3,49	—	3,78
199	150,0	174,9	16,55	0,888	43,6	5,55	31,5	170,00	3,90		
200	150,0	174,9	16,60	0,908	46,2	5,55	31,5	209,00	4,52		
					Mittel	5,55	31,5	189,50	4,21	—	4,51
201	100,0	124,9	16,73	0,998	49,3	5,57	22,4	242,50	4,92		
202	100,0	124,9	16,65	0,975	48,0	5,55	22,5	227,00	4,73		
					Mittel	5,56	22,5	234,75	4,83	—	5,33
203	50,0	74,9	16,60	0,845	41,8	5,58	13,4	237,00	5,67		
204	50,0	74,9	16,65	0,900	44,1	5,53	13,5	289,50	6,57		
					Mittel	5,56	13,5	263,25	6,12	—	6,24
205	20,0	44,9	16,65	0,884	43,7	5,58	8,0	285,00	6,52		
206	20,0	44,9	16,70	0,841	41,9	5,62	8,0	270,00	6,44		
					Mittel	5,60	8,0	277,50	6,48	—	6,83

7. Serie: Gewöhnlicher Guss.

Nomineller, *innerer Durchmesser:* 10,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*

207	400,0	424,9	11,75	0,895	30,5	3,85	110,4	24,64	0,81		
208	400,0	424,9	11,70	0,838	28,6	3,85	110,4	23,38	0,82		
					Mittel	3,85	110,4	24,01	0,82	0,81	--
209	350,0	374,9	11,63	0,808	27,4	3,84	97,6	32,50	1,19		
210	350,0	374,9	11,65	0,915	30,8	3,81	98,4	44,25	1,44		
					Mittel	3,83	98,0	38,38	1,32	1,03	—
211	300,0	324,9	11,60	0,888	29,9	3,80	85,5	40,53	1,36		
212	300,0	324,9	11,68	0,775	26,5	3,86	84,2	36,38	1,37		
					Mittel	3,83	84,9	38,46	1,37	1,37	—
213	250,0	274,9	11,60	0,825	27,9	3,82	72,0	62,50	2,24		
214	250,0	274,9	11,70	0,815	27,9	3,86	71,2	65,00	2,33		
					Mittel	3,84	71,6	63,75	2,29	—	1,89

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut Nt	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
215	200,0	224,9	11,60	0,850	28,7	3,81	59,0	73,25	2,55		
216	200,0	224,9	11,60	0,795	27,0	3,83	58,7	74,70	2,77		
					Mittel	3,82	58,9	73,98	2,66	—	2,53
217	150,0	174,9	11,60	0,845	28,6	3,81	45,9	114,00	3,99		
218	150,0	174,9	11,70	0,880	29,9	3,84	45,5	114,00	3,81		
					Mittel	3,83	45,7	114,00	3,90	—	3,39
219	100,0	124,9	11,58	0,825	27,8	3,81	32,8	126,50	4,55		
220	100,0	124,9	11,60	0,850	28,8	3,81	32,8	137,50	4,77		
					Mittel	3,81	32,8	132,00	4,66	—	4,39
221	50,0	74,9	11,65	0,825	28,1	3,84	19,5	152,00	5,41		
222	50,0	74,9	11,68	0,791	28,1	3,85	19,5	186,00	6,26		
					Mittel	3,85	19,5	169,00	6,02	—	5,62
223	20,0	44,9	11,65	0,801	27,4	3,85	11,7	201,00	7,35		
224	20,0	44,9	11,65	0,799	27,3	3,85	11,7	213,00	7,78		
					Mittel	3,85	11,7	207,00	7,57	—	6,43
					8. Serie: Gewöhnlicher Guss.						
					nomineller, *innerer Durchmesser:* 12,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
225	400,0	424,9	13,73	0,925	37,2	4,54	93,6	39,69	1,07		
226	400,0	424,9	13,78	0,883	35,7	4,57	93,0	44,28	1,24		
					Mittel	4,56	93,3	41,99	1,16	1,10	—
227	350,0	374,9	13,75	0,888	35,8	4,56	82,2	56,35	1,57		
228	350,0	374,9	13,70	0,918	36,8	4,53	82,8	55,00	1,50		
					Mittel	4,55	82,5	55,68	1,54	1,45	—
229	300,0	324,9	13,70	0,955	38,2	4,52	71,9	63,85	1,67		
230	300,0	324,9	13,75	0,950	38,2	4,54	71,6	62,95	1,65		
					Mittel	4,53	71,8	63,40	1,66	1,87	—
231	250,0	274,9	13,73	0,858	34,7	4,56	60,3	93,00	2,68		
232	250,0	274,9	13,75	0,938	34,0	4,58	60,0	87,75	2,58		
						4,57	60,2	90,38	2,63	—	2,46

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser b cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
233	200,0	224,9	13,65	0,850	34,2	4,55	49,4	119,00	3,48		
234	200,0	224,9	13,75	0,868	35,1	4,57	49,2	121,00	3,45		
					Mittel	4,56	49,3	120,00	3,47	—	3,13
235	150,0	174,9	13,78	0,924	37,3	4,56	38,4	127,00	3,41		
236	150,0	174,9	13,73	0,825	33,4	4,57	38,3	133,00	3,98		
					Mittel	4,57	38,4	130,00	3,70	—	3,83
237	100,0	124,9	13,63	0,864	34,6	4,52	27,6	178,00	5,15		
238	100,0	124,9	13,75	0,843	34,1	4,57	27,3	213,00	6,25		
					Mittel	4,55	27,5	195,50	5,70	—	4,86
239	50,0	74,9	13,70	0,865	34,9	4,55	16,5	216,00	6,19		
240	50,0	74,9	13,70	0,880	35,4	4,54	16,5	242,00	6,84		
					Mittel	4,55	16,5	229,00	6,52	—	5,92
241	20,0	44,9	13,70	0,831	33,6	4,56	9,9	253,50	7,55		
242	20,0	44,9	13,65	0,856	34,4	4,53	9,9	213,00	6,19		
					Mittel	4,55	9,9	233,25	6,87	—	6,62
					9. Serie: Gewöhnlicher Guss.						
					Nomineller, *innerer Durchmesser:* 15,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
243	400,0	424,9	16,65	0,910	45,0	5,57	76,3	69,90	1,55		
244	400,0	424,9	16,63	0,943	46,4	5,56	76,4	72,95	1,57		
					Mittel	5,57	76,4	71,40	1,56	—	1,38
245	350,0	374,9	16,65	0,858	42,5	5,59	67,1	83,03	1,95		
246	350,0	374,9	16,65	0,848	42,1	5,60	67,0	83,25	1,98		
					Mittel	5,60	67,1	83,14	1,97	—	2,20
247	300,0	324,9	16,58	0,838	41,4	5,57	58,3	103,30	2,50		
248	300,0	324,9	16,60	0,875	43,2	5,57	58,3	96,95	2,24		
					Mittel	5,57	58,3	100,13	2,37	—	2,66
249	250,0	274,9	16,63	0,868	42,9	5,58	49,3	126,75	2,95		
250	250,0	274,9	16,63	0,855	42,3	5,58	49,3	134,80	3,19		
					Mittel	5,58	49,3	130,78	3,07	—	3,13

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_o cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
251	200,0	224,9	16,60	0,864	42,7	5,57	40,4	163,00	3,82		
252	200,0	224,9	16,60	0,865	42,7	5,57	40,4	175,00	4,10		
					Mittel	5,57	40,4	169,00	3,96	—	3,78
253	150,0	174,9	16,55	0,779	38,6	5,58	31,3	191,00	4,95		
254	150,0	174,9	16,68	0,838	41,6	5,61	31,2	195,00	4,69		
					Mittel	5,60	31,3	193,00	4,82	—	4,52
255	100,0	124,9	16,63	0,903	44,6	5,57	22,4	255,00	5,72		
256	100,0	124,9	16,68	0,838	41,6	5,61	22,3	235,00	5,65		
					Mittel	5,59	22,4	245,00	5,69	—	5,34
257	50,0	74,9	16,60	0,838	41,5	5,58	13,4	240,00	5,78		
258	50,0	74,9	16,60	0,868	42,9	5,57	13,5	267,00	6,22		
					Mittel	5,58	13,5	253,50	6,00	—	6,24
259	20,0	44,9	16,60	0,788	39,1	5,60	8,0	268,50	6,87		
260	20,0	44,9	16,60	0,780	38,7	5,60	8,0	278,00	7,18		
					Mittel	5,60	8,0	273,25	7,03	—	6,83

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_o cm	Wirksame Stablänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Stabmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut N_t	t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Tetmajer β_k
Diener & Co., Zürich.											
1. Serie: Gewöhnlicher Guss).*											
Massige Vierkantstäbe mit nominell 3,0 × 3,0 *cm* Querschnitt; *Spitzenlagerung.*											
261	159,3	173,0	2,98	3,01	8,97	0,86	201,0	2,60	0,29		
262	159,2	172,9	2,98	2,98	8,88	0,86	201,0	2,75	0,31		
					Mittel	0,86	201,0	2,68	0,30	0,24	—
263	137,8	151,5	2,98	2,99	8,91	0,86	176,0	3,30	0,37		
264	137,7	151,4	2,91	3,02	8,79	0,84	180,0	3,25	0,37		
					Mittel	0,85	178,0	3,28	0,37	0,31	—
265	116,2	129,9	3,01	3,02	9,09	0,87	149,0	4,45	0,49		
266	116,1	129,8	2,98	2,99	8,91	0,86	151,0	4,90	0,55		
					Mittel	0,87	150,0	4,68	0,52	0,43	—
267	105,1	118,9	2,91	3,01	8,76	0,84	141,5	4,20	0,48		
268	107,6	121,3	2,98	3,01	8,97	0,86	141,0	4,30	0,48		
					Mittel	0,85	141,3	4,25	0,48	0,52	—
269	94,4	108,1	2,91	3,02	8,79	0,84	129,0	6,75	0,77		
270	94,4	108,1	2,98	3,04	9,06	0,86	126,0	6,80	0,75		
					Mittel	0,85	127,5	6,78	0,81	0,61	—
271	88,5	102,2	2,94	2,96	8,70	0,85	120,2	5,65	0,65		
272	89,8	103,5	2,98	3,03	9,03	0,86	120,3	5,50	0,61		
					Mittel	0,86	120,3	5,58	0,63	0,68	—
273	72,8	86,5	3,04	3,04	9,24	0,88	98,0	11,80	1,28		
274	72,8	86,5	3,14	3,16	9,91	0,91	95,0	10,90	1,10		
					Mittel	0,90	96,5	11,35	1,19	1,06	—
275	51,1	64,8	2,87	2,88	8,27	0,83	78,0	14,50	1,76		
276	51,2	64,9	2,91	2,92	8,50	0,84	77,0	13,60	1,60		
					Mittel	0,84	77,5	14,05	1,68	—	1,64
277	29,6	43,3	2,87	2,91	8,35	0,83	52,0	22,20	2,66		
278	29,6	43,3	2,91	2,91	8,47	0,84	51,5	22,30	2,64		
					Mittel	0,84	51,8	22,25	2,65	—	2,96

*) Ausgeführt auf der *Werder*'schen Maschine in Zürich.

Lauf. No.	Urspr. Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Stabmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	Beobachtete Knickungskraft t p. cm² β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k

2. Serie: Gewöhnlicher Guss.

Massige Vierkantstäbe mit nominell 3,0 × 3,0 *cm* Querschnitt; ***Flächenlagerung.***

Nachstehende Zahlenwerte sind berechnet für eine freie Knicklänge (l):

$$l = \frac{1}{1,9}\, l_0$$

Lauf. No.	l_0 cm	l cm	b cm	s cm	F cm²	k cm	$\frac{l}{k}$	N t	β_k	Euler β_k	Tetmajer β_k
279	259,1	136,4	3,01	3,03	9,12	0,87	156,8	3,75	0,41		
280	259,3	136,5	2,97	3,00	8,91	0,86	158,7	3,75	0,42		
					Mittel	0,87	157,8	3,75	0,42	0,39	—
281	237,7	125,1	3,01	3,04	9,15	0,87	143,8	4,30	0,47		
282	237,9	125,2	3,01	3,03	9,12	0,87	143,9	4,55	0,50		
					Mittel	0,87	143,9	4,43	0,49	0,47	—
283	216,0	113,7	3,01	3,04	9,15	0,87	130,7	5,50	0,60		
284	216,1	113,7	2,94	2,95	8,67	0,85	133,8	4,85	0,56		
					Mittel	0,86	132,3	5,13	0,58	0,56	—
285	194,6	102,5	3,01	3,04	9,15	0,87	117,8	6,50	0,71		
286	194,6	102,5	3,11	3,11	9,67	0,90	113,9	7,35	0,76		
					Mittel	0,89	115,9	6,93	0,74	0,73	—
287	172,3	90,7	3,08	3,10	9,55	0,89	101,9	9,20	0,96		
288	172,5	90,8	3,04	3,10	9,42	0,88	103,2	8,80	0,93		
					Mittel	0,89	102,6	9,00	0,95	0,93	—
289	151,3	79,6	3,08	3,12	9,61	0,89	89,4	11,50	1,20		
290	151,5	79,7	3,04	3,10	9,42	0,88	90,6	11,70	1,24		
					Mittel	0,89	90,0	11,60	1,22	1,21	—
291	129,8	68,3	3,08	3,10	9,55	0,89	76,7	15,20	1,59		
292	129,7	68,3	3,11	3,11	9,67	0,90	75,9	14,70	1,52		
					Mittel	0,90	76,3	14,95	1,56	—	1,69
293	108,0	56,8	3,11	3,12	9,70	0,90	63,1	21,00	2,16		
294	108,0	56,8	3,04	3,06	9,30	0,88	64,5	19,95	2,15		
					Mittel	0,89	63,8	20,48	2,16	—	2,26
295	86,4	45,5	3,04	3,06	9,30	0,88	51,7	25,00	2,69		
296	86,3	45,4	3,04	3,10	9,42	0,88	51,6	25,60	2,72		
					Mittel	0,88	51,7	25,30	2,71	—	2,98

Die beigeheftete Tafel II enthält die graphische Darstellung der gewonnenen Resultate. Nach wie vor sind als Abscissen des orthogonalen Koordinatensystems die massgebenden Längenverhältnisse ($l : k$), als Ordinathen in t pro cm^2 diejenigen, mittleren specifischen Pressungen eingetragen, bei welchen der Verlust des Tragvermögens eingetreten ist. Als freie Knickungslänge = der wirksamen Stablänge, wurde der Körnerabstand, vergl. Fig. 9 bezw. 10, somit

$$l = l_0 + 2a$$

in Rechnung gestellt.

In Tafel II wurden eingetragen:

1. *Sämtliche Einzelversuche* ausgeführt an Rohrabschnitten von Brebach, Carels-frères, und Choindez.

2. *Mittelwerte aus je 2 Versuchen,* ausgeführt an rektangulären, massiven Barren geliefert von der Giesserei der HH. Diener & Co. in Zürich.

3. *Die Gruppenmittel* für die Längenverhältnisse

$\frac{l}{k}$ =	0	bis einschliesslich	9;	$\frac{l}{k}$ =	46	bis einschliesslich	50;
=	9	» »	10;	=	50	» »	60;
=	10	» »	12;	=	60	» »	65;
=	12	» »	15;	=	65	» »	69;
=	15	» »	17;	=	69	» »	75;
=	17	» »	20;	=	75	» »	80;
=	20	» »	25;	=	80	» »	90;
=	25	» »	30;	=	90	» »	95;
=	30	» »	35;	=	95	» »	100;
=	35	» »	44;	=	100	» »	115.
=	44	» »	46;				

Die Ergebnisse unserer Versuche lassen sich nun folgendermassen zusammenfassen:

1. Das Material unserer Knickungsproben mit gusseisernen Stäben, ist sowohl bezüglich dessen chemischer Zusammensetzung als auch der physikalischen Eigenschaften verschiedenartig und verschiedenwertig.

2. Die chemische Analyse der Rohrscherben, ausgeführt im Laboratorium der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt ergab:

an Graphit;	gebund. C.;	Mangan;	Silicium;	Phosphor;	Schwefel.
Für *Brebacher-Eisen:* Marke R (Röhrenguss)					
2,684 %;	0,781 %;	0,346 %;	1,334 %;	1,470 %;	0,058 %.
Marke S (Säulenguss)					
2,678 %;	0,910 %;	0,601 %;	1,691 %;	1,103 %;	0,077 %.
Marke RL (gewöhnlicher Guss)					
2,536 %;	0,758 %;	0,364 %;	2,418 %;	1,717 %;	0,052 %.
Für *Carels-frères-Eisen:*					
2,600 %;	0,600 %;	0,437 %;	2,394 %;	1,725 %;	0,035 %.
Für *Choindez-Eisen:*					
2,503 %;	1,128 %;	0,373 %;	1,640 %;	1,096 %;	0,065 %.

3. Die Gütebiege- und Zerreissproben, ausgeführt an vorschriftsgemäss gegossenen Barren von 3,0 × 3,0 cm Querschnitt (vergl. die Konferenz-Beschlüsse München-Berlin) ergaben:

an Biegungs-arbeit;	Durch-biegung;	Biegungs-festigkeit;	Zug-festigkeit;	Druck-festigkeit.
Für *Brebacher-Eisen:* (Mittelwerte aus 6 Versuchen)				
Marke R (Röhrenguss)				
0,42 *cm t*;	1,52 *cm*;	2,60 *t* p. cm^2;	1,78 *t* p. cm^2;	8,09 *t* p. cm^2.
Marke S (Säulenguss)				
0,46 *cm t*;	1,60 *cm*;	2,70 *t* p. cm^2;	1,77 *t* p. cm^2;	8,39 *t* p. cm^2.
Marke RL (gewöhnlicher Guss)				
0,38 *cm t*;	1,40 *cm*;	2,54 *t* p. cm^2;	1,77 *t* p. cm^2;	8,22 *t* p. cm^2.
Für *Choindez-Eisen:* (Mittel aus 4 Versuchen).				
0,51 *cm t*;	1,94 *cm*;	2,33 *t* p. cm^2;	1,43 *t* p. cm^2;	6,20 *t* p. cm^2.

Spähne der den Gütebiegeproben unterworfenen Barren ergaben folgende Zusammensetzungen:

Graphit;	gebund. C.;	Mangan;	Silicium;	Phosphor;	Schwefel.
Für *Brebacher-Eisen:* Marke R (Röhrenguss)					
2,771 %;	0,820 %;	0,433 %;	1,504 %;	1,364 %;	0,080 %.
Marke S (Säulenguss)					
2,679 %;	1,002 %;	0,546 %;	1,455 %;	0,978 %;	0,082 %.
Marke RL (gewöhnlicher Guss)					
2,605 %;	0,660 %;	0,355 %;	2,307 %;	1,712 %;	0,052 %.
Für *Choindez-Eisen:*					
2,996 %;	0,999 %;	0,275 %;	1,239 %;	0,744 %;	0,043 %.

4. Direkte Beobachtungen lehren und bestätigt die graphische Darstellung der Versuchsresultate (vergl. Tafel II) die Erfahrung, dass das Gusseisen in der erweiterten Druckprobe weder eine sprungweise Änderung des gesetzmässigen Verlaufs der Tragkräfte an der Grenze, noch eine deutlich ausgeprägte Verschiedenheit im Charakter der Formänderungen zeigt. Diese Beobachtung ist eine unmittelbare Folge der Beschaffenheit des Gefüges. Je graphitreicher das Eisen, je gröber und dünkler das Korn, je grösser die bleibenden Formveränderungen bei der ausgeübten Belastung. Eine bestimmte Elasticitäts- und Proportionalitätsgrenze besitzt das Gusseisen nicht, und da dasselbe dem Proportionalitätsgesetze auch nicht folgt, können die Formeln der Elaticitätslehre für das Gusseisen auch nicht mehr als den Wert roher Annäherungen für sich in Anspruch nehmen.

5. Guss-Stäbe mit einem Längenverhältniss von ca. 80 nähern sich dem Charakter vorwiegend elastischer Körper; mit darüber hinaus wachsenden Längenverhältnissen der gedrückten Stäbe mildern sich die von den Gefügeverhältnissen des grauen Gusseisen herrührenden Abweichungen vom Elasticitäts- und Proportionalitätsgesetze des schmiedbaren Eisens, so dass für Guss-Stäbe von $l : k > ca.\ 80$ *an die Euler'sche Knickungsformel auch für das mittel- und feinkörnige, graue Gusseisen benützt und die specifische Knickspannung durch:*

$$\beta_k = 9870{,}0 \left(\frac{k}{l}\right)^2$$

ausgedrückt werden darf.

6. Für Guss-Stäbe mit Längenverhältnissen $l : k < ca.\ 80$ *verliert die Euler'sche Formel ihre Gültigkeit und liegen die Mittelwerte der specifischen Knickspannungen um eine parabolische Kurve gruppiert, welche für alle praktischen Bedürfnisse hinlänglich genau durch die Gleichung:*

$$\beta_k = 0{,}00053 \left(\frac{l}{k}\right)^2 - 0{,}120 \frac{l}{k} + 7{,}76$$

in t pro cm² ausgedrückt wird.

7. Bezeichnet F in cm^2 den Querschnittsinhalt des einem centrischem Drucke unterworfenen Guss-Stabes, so wird seine Tragkraft an der Grenze, bei welcher Bruch eintritt, für prak-

tische Bedürfnisse ausreichend genau ausgedrückt durch folgende Formelgruppen (in t à 1000 kg):

für Stäbe mit Längenverhältnissen: $\frac{l}{k}$ = ca. 5 bis 80:

$$N = \beta_k F = \left[0{,}00053 \left(\frac{l}{k}\right)^2 - 0{,}120 \frac{l}{k} + 7{,}76\right] \text{F};$$

für Stäbe mit Längenverhältnissen $\frac{l}{k} > 80$:

$$N = \beta_k F = 9870{,}0 \left(\frac{k}{l}\right)^2 \text{F}.$$

8. Unter zu Grundelegung einer mittleren Druckfestigkeit des grauen Gusseisens im Betrage von:

$$\beta_d = 7{,}76 \; t \text{ pro } cm^2$$

und bei Berücksichtigung vorstehender Grundformeln liefert die Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel

$$\beta_k = \frac{\beta_d}{1 + \eta \left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

folgende Werte des Knickungskoeffizienten η:

für $\frac{l}{k} = 10$	wird $\eta = 0{,}00175$;	für $\frac{l}{k} = 90$	wird $\eta = 0{,}00066$;
$= 20$ »	$= 0{,}00098$;	$= 100$ »	$= 0{,}00068$;
$= 30$ »	$= 0{,}00075$;	$= 110$ »	$= 0{,}00070$;
$= 40$ »	$= 0{,}00065$;	$= 120$ »	$= 0{,}00071$;
$= 50$ »	$= 0{,}00061$;	$= 130$ »	$= 0{,}00073$;
$= 60$ »	$= 0{,}00060$;	$= 140$ »	$= 0{,}00074$;
$= 70$ »	$= 0{,}00060$;	$= 150$ »	$= 0{,}00074$;
$= 80$ »	$= 0{,}00063$;	u. s. w.	

Hieraus geht hervor, dass der Knickungskoeffizient weder konstant, noch durch *eine* Funktion von $\frac{l}{k}$ sich ausdrücken lässt.

III. Abteilung: Schweisseisen.

Lauf. No.	Stablänge: Urspr. l_0 cm	Stablänge: Wirksame l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete: Knickkraft absolut N t	Beobachtete: Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete: Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete: Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
1. Serie: Material der Burbacherhütte. Sämtliche Zahlen sind Mittelwerte aus 2 Versuchen.											
∟-*Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 10.* Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3{,}5$ t pro cm^2; $\lambda_z = 17{,}0\,\%$; $c = 0{,}60$ $cm\,t$.											
1	80	103	20,00	1,98	52,0	45,00	2,25	↗	↗	—	2,60
2	120	143	20,00	1,98	72,2	44,13	2,21	↗	↗	—	2,16
3	160	183	20,00	1,98	92,4	33,50	1,68	↗	↗	2,25	1,83
4	240	257	20,00	1,98	129,8	22,00	1,10	↗	↗	1,14	—
5	320	337	20,00	1,98	170,3	13,48	0,67	↖	↖	0,66	—
6	400	417	20,00	1,98	210,6	8,67	0,43	↖	↑	0,43	—
⊥-*Eisen; Burbacher-Profil Nr. 27.* Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3{,}34$ t pro cm^2; $\lambda_z = 17{,}6\,\%$; $c = 0{,}59$ $cm\,t$.											
7	90	113	24,8	1,91	59,2	49,87	2,01	⊥←	⊥→	—	2,38
8	140	163	24,8	1,91	85,3	45,00	1,81	→	→	2,66	1,95
9	190	213	24,8	1,91	111,5	36,75	1,48	→	←	1,55	1,52
10	270	287	24,8	1,91	150,3	21,20	0,86	→	←	0,85	—
11	350	367	26,0	2,02	181,7	14,38	0,55	→	→	0.58	—
12	430	447	26,0	2,02	221,2	10,34	0,40	→	→	0,39	—
⊏-*Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 14.* Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3{,}75$ t pro cm^2; $\lambda_z = 23{,}1\,\%$; $c = 0{,}87$ $cm\,t$.											
13	80	103	20,3	1,75	58,2	50,13	2,47	⊏←	⊏←	—	2,39
14	120	143	20,3	1,75	81,7	43,13	2,12	←	←	—	2,01
15	160	183	20,3	1,75	114,6	33,38	1,64	→	←	1,78	1,63
16	240	257	20,3	1,75	146,9	17,22	0,86	→	→	0,89	—
17	320	337	20,3	1,75	192,5	11,63	0,57	←	→	0,52	—
18	400	417	20,3	1,75	238,2	7,65	0,39	→	→	0,34	—

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N t$	Beobachtete Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
I-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 12. Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3{,}69$ t pro cm^2; $\lambda_z = 22{,}6\,\%$; $c = 0{,}83$ cm t.											
19	50	73	14,20	1,22	59,8	35,63	2,51	I←	←	—	2,37
20	75	98	14,20	1,22	80,3	30,25	2,13	←	→	—	2,03
21	100	123	14,20	1,22	100,8	27,00	1,90	→	←	1,89	1,69
22	150	173	14,20	1,22	141,8	14,38	1,01	←	→	0,96	—
23	200	217	14,20	1,22	177,9	7,75	0,55	→	→	0,61	—
24	250	267	14,20	1,22	218,8	5,65	0,40	→	→	0,40	—
I-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 17.											
25	80	103	25,7	1,62	63,6	55,25	2,17	I←	I→	—	2,30
26	120	143	25,7	1,62	88,2	48,75	1,90	→	←	—	1,90
27	160	183	25,7	1,62	113,0	36,00	1,40	←	←	1,51	1,49
28	240	257	25,7	1,66	154,8	20,07	0,78	←	→	0,80	—
29	320	337	25,7	1,66	203,0	14,00	0,54	←	→	0,47	—
30	400	417	25,7	1,66	251,2	8,32	0,33	→	←	0,31	—
⌊⌊-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: $d = 1{,}7$ cm; Nietteilung: t = ca. 70 s = 55,0 cm; Verschwächung des Profils: $n = 11{,}5\,\%$.											
31	100	123	24,4	2,47	50,0	61,13	2,51	⌊←	⌊←	—	2,53
32	150	173	24,4	2,47	70,1	54,37	2,23	←	←	—	2,20
33	200	223	24,4	2,47	90,3	48,88	2,00	←	→	—	1,87
34	300	317	24,4	2,47	128,3	30,50	1,25	←	→	1,17	—
35	400	417	24,4	2,47	168,8	16,45	0,67	→	←	0,68	—
36	500	517	24,4	2,47	209,3	10,72	0,44	←	→	0,44	—

Lauf. No.	Ursprl. Stablänge l_o cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
⌖-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 6ª. Nietdurchmesser: d = 1,4 cm; Nietteilung: t = ca. 73 s = 44,0 cm; Verschwächung des Profils: n = 12,3 %.											
37	100	123	27,0	2,50	49,2	69,25	2,56	⌖↖	⌖→	—	2,54
38	150	173	27,0	2,50	69,2	57,75	2,14	→	→	—	2,21
39	200	223	27,0	2,50	89,2	42,71	1,58	→	→	2,42	1,88
40	300	317	27,0	2,50	126,8	28,00	1,04	→	→	1,20	—
41	400	417	27,0	2,50	166,8	18,53	0,69	→	←	0,69	—
42	500	517	27,0	2,50	206,8	11,92	0,44	↘	↗	0,45	—
⊤-Eisen; Burbacher-Profil Nr. 16. Nietdurchmesser: d = 1,7 cm; Nietteilung: t = ca. 56 s = 45,0 cm; Verschwächung des Profils: n = 10,2 %.											
43	100	123	25,76	2,05	60,0	54,00	2,10	⊤←	⊤←	—	2,36
44	150	173	25,76	2,05	84,4	44,75	1,74	→	→	—	1,90
45	200	223	25,76	2,05	108,8	40,25	1,56	→	→	1,63	1,56
46	280	297	25,76	2,05	144,9	20,40	0,79	→	→	0,92	—
47	400	417	26,60	2,12	177,8	15,13	0,59	→	←	0,61	—
48	439	456	26,60	2,12	215,1	11,29	0,42	→	→	0,42	—
⊐-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: d = 1,4 cm; Nietteilung: t = ca. 75 s = 45,0 cm; Verschwächung des Profils: n = 7,6 %.											
49	80	103	21,8	2,00	51,5	51,63	2,37	⊐←	⊐←	—	2,50
50	120	143	21,8	2,00	71,5	46,75	2,14	→	→	—	2,17
51	160	183	21,8	2,00	91,5	39,25	1,80	←	→	—	1,85
52	240	257	21,8	2,00	128,5	22,82	1,05	←	→	1,17	—
53	320	337	21,8	2,00	168,5	14,50	0,66	→	←	0,68	—
54	400	417	21,8	2,00	208,5	9,44	0,43	→	→	0,44	—

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_o cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N t$	Beobachtete Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
2. Serie: Formeisen; Eisenwerk Kaiserslautern.											
Nachstehende Zahlenwerte entsprechen je einem Versuche.											
⊥-*Eisen; Burbacher Profil Nr. 24.*											
55	560	579	19,9	1,80	322	3,90	0,20	⊥→	—	0,19	—
⊏-*Eisen.*											
56	560	579	17,0	1,70	341	2,60	0,15	⊏←	—	0,17	—
⌶-*Eisen.*											
57	560	579	21,0	2,14	271	5,90	0,28	⌶→	—	0,26	—
3. Serie: Rundeisen von de Wendel & Co.											
Nachstehende Zahlenwerte entsprechen je einem Versuche.											
58*)	8,1	—	6,07	(d = 2,79)	—	45,00	c. 7,41	—	—	—	—
59	8,3	22,0	6,11	0,697	31,6	15,50	2,54	—	—	—	2,62
60	10,0	23,7	2,49	0,445	53,3	5,80	2,33	—	—	—	2,34
61	11,0	24,7	6,11	0,697	35,4	14,50	2,37	—	—	—	2,57
62	12,5	26,2	4,08	0,570	45,9	9,75	2,39	—	—	—	2,43
63	13,9	27,6	6,11	0,697	39,6	14,25	2,33	—	—	—	2,52
64	20,0	33,7	2,49	0,445	75,7	5,38	2,16	—	—	—	2,05
65*)	20,0	—	8,45	(d = 3,28)	—	31,00	3,67	—	—	—	—
66	25,0	38,7	4,08	0,570	68,0	9,20	2,25	—	—	—	2,15
67	30,0	43,7	2,49	0,445	98,2	4,40	1,77	—	—	—	1,75
68	37,5	51,2	4,08	0,570	90,0	7,90	1,94	—	—	—	1,86
69	40,0	53,7	2,49	0,445	120,7	3,40	1,37	—	—	1,38	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Ursprl. Stablänge l_o cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N t$	Beobachtete Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
70	50,0	63,7	4,08	0,570	111,7	6,70	1,65	—	—	1,62	—
71	100,0	113,7	18,02	1,200	94,7	32,25	1,77	—	—	—	1,80
72	110,0	123,7	14,39	1,070	115,0	18,12	1,26	—	—	1,53	
73	120,0	133,7	11,16	0,942	141,9	10,38	0,93	—	—	1,00	
74	120,0	133,7	8,45	0,820	163,0	5,90	0,70	—	—	0,76	
75	120,0	133,7	6,11	0,697	191,8	3,12	0,51	—	—	0,55	

4. Serie: Formeisen von de Wendel & Co.

Sämtliche Zahlen sind Mittelwerte aus 2 Versuchen.

L-*Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 10.*

76*	100	50	15,3	1,78	28,1	43,63	2,85	<→	<←	—	2,66
77	100	123	20,0	1,98	62,1	45,38	2,27	→	←	—	2,22
78	150	173	20,0	1,98	87,0	38,32	1,92	→	→	—	1,90
79	200	219	20,0	1,98	111,0	29,50	1,48	→	←	1,64	—
80	300	319	20,0	1,98	161,0	14,23	0,71	←	←	0,78	—
81	400	419	20,0	1,98	212,0	10,25	0,51	←	←	0,45	—
82	500	519	20,0	1,98	262,0	6,08	0,30	↙	←	0,30	—

⊥-*Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 12 : 6.*

83*	100	50	20,80	3,06	16,3	57,03**	2,75	⊢→	⊢→	—	2,82
84	100	123	17,36	1,46	84,2	36,00	2,10	→	→	—	1,94
85	150	173	17,36	1,46	118,5	22,25	1,35	↗	→	1,51	
86	200	223	17,36	1,46	153,0	16,79	0,97	←	→	0,86	
87	300	319	17,36	1,46	218,0	7,57	0,44	←	←	0,43	
88	400	419	17,36	1,46	288,0	4,30	0,25	←	→	0,24	
89	500	519	17,36	1,46	355,0	2,65	0,15	←	←	0,16	

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

**) Einfacher Versuch; der zweite ergab aus nicht ergründeter Ursache: 1,12 t pro cm².

Lauf. No.	Stablänge: Urspr. l_0 cm	Stablänge: Wirksame l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete: Knickkraft absolut $N t$	Beobachtete: Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete: Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete: Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
[-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 14.											
90	80	103	20,96	1,71	60,2	50,50	2,41	[→	[→	—	2,25
91	120	143	20,96	1,71	83,6	43,65	2,08	→	→	—	1,94
92	160	183	20,96	1,71	107,0	35,88	1,71	→	←	1,77	—
93	240	259	20,96	1,71	151,0	17,68	0,84	→	→	0,89	—
94	320	339	20,96	1,71	198,0	11,33	0,54	←	←	0,52	—
95	400	419	20,96	1,71	245,0	7,00	0,33	←	←	0,34	—
I-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 18.											
96	50	25,0*	29,34	1,71	14,6	84,50	2,89	I→	I→	—	2,84
97	75	37,5*	29,34	1,71	21,9	78,25	2,67	→	→	—	2,75
98	100	123,0	29,34	1,71	71,9	62,88	2,14	→	→	—	2,10
99	150	173,0	29,34	1,71	101,0	46,88	1,60	→	→	—	1,72
100	200	223,0	29,34	1,71	130,0	35,50	1,21	←	→	1,20	—
101	250	269,0	29,34	1,71	157,0	23,76	0,81	→	→	0,82	—
L-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8.											
Nietdurchmesser: d = 1,8 cm; Nietteilung: t = ca. 31 s = 25,0 cm; Verschwächung des Profils: n = 11,7 %.											
102	100	123	24,8	2,47	50	56,00	2,26	L↗	L←	—	2,38
103	150	173	24,8	2,47	70	52,38	2,11	←	↗	—	2,12
104	200	223	24,8	2,47	90	49,75	2,01	↗	↗	—	1,86
105**	300	319	—	—	—	—	—	—	—	—	—
106	400	419	24,8	2,47	170	16,69	0,67	←	←	0,70	—
107	500	519	24,8	2,47	210	11,00	0,44	←	→	0,46	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.
**) Nicht ausgeführt.

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
⊞-Eisen; deutsch. Normalprofil No. 6. Nietdurchmesser: d = 1,5 cm; Nietteilung: t = ca. 33 s = 20,0 cm; Verschwächung des Profils: n = 12,6 %.											
108	100	123	28,72	2,43	50,6	67,75	2,36	⊞←	⊞→	—	2,37
109	150	173	28,72	2,43	71,2	56,88	1,98	→	→	—	2,10
110	200	219	28,72	2,43	90,1	44,00	1,53	↑	←	—	1,86
111	300	319	28,72	2,43	131,0	26,25	0,91	↓	→	1,18	—
112	400	419	28,72	2,43	172,0	17,44	0,61	→	→	0,68	—
113	500	519	28,72	2,43	214,0	11,56	0,40	↗	→	0,44	—
╪-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 9 : 4½. Nietdurchmesser: d = 1,5 cm; Nietteilung: t = ca. 20 s = 16,0 cm; Verschwächung des Profils: n = 11,4 %.											
114*)	60	30	20,98	1,48	20,3	58,50	2,79	╪→	╪→	—	2,77
115	90	113	20,98	1,48	76,3	37,88	1,81	←	→	—	2,04
116	120	143	20,98	1,48	96,7	35,75	1,71	→	→	—	1,77
117	180	199	20,98	1,48	135,0	22,90	1,09	←	→	1,11	—
118	240	259	20,98	1,48	162,0	15,30	0,73	→	←	0,77	—
119	300	319	20,98	1,48	216,0	9,50	0,45	←	→	0,43	—
⊐⊏-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: d = 1,5 cm; Nietteilung: t = ca. 27 s = 16,0 cm; Verschwächung des Profils: n = 8,3 %.											
120*)	80	40	21,76	1,92	20,8	59,25	2,72	⊐⊏→	⊐⊏→	—	2,76
121	120	143	21,76	1,92	74,5	50,13	2,30	→	→	—	2,06
122	160	183	21,76	1,92	95,3	40,37	1,86	→	→	—	1,79
123	240	259	21,76	1,92	135,0	25,40	1,17	→	→	1,11	—
124	320	339	21,76	1,92	177,0	14,50	0,67	←	→	0,65	—
125	400	419	21,76	1,92	218,0	9,44	0,43	→	→	0,43	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

IV. Abteilung: Flusseisen.

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N t$	Beobachtete Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
5. Serie: Rundeisen von de Wendel & Co. Nachstehende Zahlen entsprechen je einem Versuche.											
126*	8,1	—	6,07	(d 2,79)	—	39,00	c. 6,42	—	—	—	—
127	8,3	22,0	6,11	0,697	31,6	16,75	2,74	—	—	—	2,74
128	10,0	23,7	2,49	0,445	53,3	6,40	2,57	—	—	—	2,49
129	11,0	24,7	6,11	0,697	35,4	16,50	2,70	—	—	—	2,70
130	12,5	26,2	4,08	0,570	45,9	11,70	2,87	—	—	—	2,58
131	13,9	27,6	6,11	0,697	39,6	16,50	2,70	—	—	—	2,65
132	20,0	33,7	2,49	0,445	75,7	5,80	2,33	—	—	—	2,24
133*	20,0	—	8,45	(d 3,28)	—	23,10	2,73	—	—	—	—
134	25,0	38,7	4,08	0,570	68,0	10,90	2,67	—	—	—	2,32
135	30,0	43,7	2,49	0,445	98,2	4,93	1,98	—	—	—	1,98
136	37,5	51,2	4,08	0,570	90,0	9,75	2,39	—	—	—	2,07
137	40,0	53,7	2,49	0,445	120,7	3,90	1,57	—	—	1,52	—
138	50,0	63,7	4,08	0,570	111,7	7,65	1,88	—	—	1,78	—
139	100,0	113,7	18,02	1,200	94,7	35,75	1,98	—	—	—	2,02
140	110,0	123,7	14,39	1,070	115,0	20,20	1,41	—	—	1,68	—
141	120,0	133,7	11,16	0,942	141,9	11,50	1,03	—	—	1,10	—
142	120,0	133,7	8,45	0,820	163,0	6,75	0,80	—	—	0,84	—
143	120,0	133,7	6,11	0,697	191,8	3,35	0,55	—	—	0,60	—
6. Serie: Formeisen von de Wendel & Co. Sämtliche Zahlen sind im Mittelwerte aus 2 Versuchen. *L-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 10.*											
144*	100	50	15,3	1,78	28,1	46,00	3,00	←<	←<	—	—
145*	100	50	14,9	1,72	29,1	43,00	2,85	→	→	—	—
146	100	123	19,2	1,98	62,1	50,63	2,64	→	→	—	2,39
147	150	173	19,2	1,98	87,0	43,13	2,15	→	→	—	2,11

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Stablänge: Urspr. l_0 cm	Stablänge: Wirksame l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete: Knickkraft absolut $N t$	Beobachtete: Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete: Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete: Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
148	200	219	19,2	1,98	111	33,00	1,72	→	←	1,80	–
149	300	319	19,2	1,98	161	15,85	0,83	←	←	0,86	–
150	400	419	19,2	1,98	212	10,25	0,53	←	→	0,49	–
151	500	519	19,2	1,98	262	6,38	0,33	←	←	0,32	–
						I-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 12 : 6.					
152*	100	50*	20,90	3,06	16,3	61,50	2,94	⊢→	⊢←	–	2,91
153	100	123	17,30	1,46	84,2	37,88	2,19	→	←	–	2,14
154	150	173	17,30	1,46	118,0	25,64	1,48	→	→	1,58	–
155	200	223	17,30	1,46	153,0	18,88	1,09	←	←	0,95	–
156	300	319	17,30	1,46	218,0	7,44	0,43	→	→	0,47	–
157	400	419	17,30	1,46	288,0	4,82	0,29	←	←	0,27	–
158	500	519	17,30	1,46	355,0	3,75	0,22	←	←	0,18	–
						⊏-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 14.					
159	80	103	20,91	1,70	60,6	51,75	2,48	⊏←	⊏→	–	2,41
160	120	143	20,91	1,70	84,1	47,95	2,29	→	→	–	2,14
161	160	183	20,91	1,70	108,0	37,80	1,81	←	→	1,90	–
162	240	259	20,91	1,70	152,0	20,25	0,97	→	→	0,96	–
163	320	339	20,91	1,70	199,0	11,60	0,56	←	←	0,56	–
164	400	419	20,91	1,70	246,0	7,75	0,38	←	←	0,37	–
						I-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 18.					
165*	50	25	29,46	1,71	14,6	80,00	2,72	I→	I→	–	2,93
166*	75	37,5	29,46	1,71	21,9	80,00	2,72	→	←	–	2,85
167	100	123,0	29,46	1,71	71,9	65,00	2,21	→	←	–	2,28
168	150	173,0	29,46	1,71	101,0	52,25	1,77	←	←	–	1,95
169	200	223,0	29,46	1,71	130,0	37,50	1,27	←	→	1,31	–
170	250	269,0	29,46	1,71	157,0	27,25	0,92	←	←	0,90	–

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Ursprl. Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickkraft absolut Nt	Beobachtete Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
⌐-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8.											
Nietdurchmesser: d = 1,8 cm; Nietteilung: t = 31 s = 25,0 cm; Verschwächung des Profils: n = 11,9 %.											
171	100	123	24,2	2,47	50	58,50	2,42	⌐←	⌐←	—	2,53
172	150	173	24,2	2,47	70	49,75	2,06	←	←	—	2,30
173	200	223	24,2	2,47	90	46,00	1,90	←	←	—	2,07
174	300	319	24,2	2,47	129	29,55	1,22	←	→	1,33	—
175	400	419	24,2	2,47	170	16,57	0,68	←	←	0,77	—
176	500	519	24,2	2,47	210	11,56	0,48	→	←	0,50	—
⌐⌐-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 6.											
Nietdurchmesser: d = 1,5 cm; Nietteilung: t = 33 s = 20,0 cm; Verschwächung des Profils: n = 13,1 %.											
177	100	123	27,58	2,40	51,2	62,12	2,25	⌐⌐↗	⌐⌐→	—	2,52
178	150	173	27,58	2,40	72,1	56,00	2,03	←	→	—	2,28
179	200	219	27,58	2,40	92,2	43,50	1,58	→	→	—	2,05
180	300	319	27,58	2,40	132,0	27,88	1,01	→	↓	1,27	—
181	400	419	27,58	2,40	175,0	16,50	0,60	↘	→	0,73	—
182	500	519	27,58	2,40	216,0	10,60	0,38	→	→	0,48	—
⌐⌐-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 9 : 4½.											
Nietdurchmesser: d = 1,5 cm; Nietteilung: t = 20 s = 16,0 cm; Verschwächung des Profils: n = 11,8 %.											
183*)	60	30	20,28	1,51	19,9	61,25	3,02	⌐⌐→	⌐⌐→	—	2,87
184	90	113	20,28	1,51	74,8	39,75	1,96	→	→	—	2,25
185	120	143	20,28	1,51	94,7	37,36	1,84	→	→	—	2,02
186	180	199	20,28	1,51	132,0	25,88	1,28	→	→	1,27	—
187	240	259	20,28	1,51	172,0	15,25	0,75	→	→	0,76	—
188	300	319	20,28	1,51	211,0	11,27	0,56	←	→	0,50	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Ursprl. Stablänge l_o cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser k cm	$\frac{l}{k}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N t$	Beobachtete Knickkraft t p. cm² β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t pro cm² nach Tetmajer β_k
⊐⊏-Eisen; deutsch. Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: $d = 1{,}5$ cm; Nietteilung: $t = 30$ $s = 16{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 8{,}2\,\%$.											
189*)	80	40	21,86	1,94	20,6	62,00	2,84	⊐⊏→	⊐⊏→	—	2,86
190	120	143	21,86	1,94	73,7	50,88	2,33	→	→	—	2,26
191	160	183	21,86	1,94	94,3	47,05	2,15	←	→	—	2,02
192	240	259	21,86	1,94	134,0	26,75	1,22	→	→	1,24	—
193	320	339	21,86	1,94	175,0	16,70	0,76	→	→	0,73	—
194	400	419	21,86	1,94	216,0	10,19	0,47	←	←	0,48	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Die Ergebnisse der in Abteilung III und IV zusammengestellten Resultate der Knickungsversuche ausgeführt an Stäben in *Schweiss-* und weichem *Flusseisen,* führen zu folgenden Schlussfolgerungen:

a. Ungeachtet aller Vorsicht und Sorgfalt in der Appretur und Einspannung der Probestäbe war nicht zu vermeiden, dass einzelne derselben zu Folge ungenügender Geradheit, Querschnittsänderungen, Materialfehler u. d. m. sich verbogen und ihre Tragkraft vorzeitig verloren haben.

b. Umgekehrt trugen einzelne Stäbe mehr als nach den festgestellten Gesetzen durchschnittlich zu erwarten war. Der Grund dieser Erscheinung ist bedingt durch das zufällige Zusammenwirken günstiger Nebenumstände, zufälliger Härte- und Dichteverhältnisse, Lage der Kraftrichtung gegen die Stabaxe u. d. m.

c. Einflüsse der Form der Versuchsstäbe auf die Knickungsfestigkeit des schmiedbaren Konstruktionseisen werden wahrscheinlich bestehen. Vorliegende Versuchsreihen geben indessen zur Beurteilung derselben keine Anhaltspunkte.

d. Die durch Nietung zusammengesetzten Stäbe verhalten sich wie einfache Walzprofile sofern:

α. die Nietabstände (Teilung) die 70-fache Dicke der gefassten Flanschen nicht überschreiten. Ob nicht noch grössere Nietabstände zulässig wären, lässt sich aus unsern Versuchen nicht ableiten. Versuche, ausgeführt an Stäben mit Kreuzprofilen aus zwei Winkeleisen, die den mittleren Stäben der eingestürzten Mönchensteiner Brücke nachgebildet waren (vergl. die Schweiz. Bauzeitung, Bd. XXI, Nr. 16 u. 17), lehren, dass 4 nietige Verstiefungsbänder mit paarweise gegenüberliegenden Nieten bei einem Abstande gleich der 80-fachen Winkeldicke, die Teilprofile zu *einem Profil* zu vereinigen nicht vermochten. In der Druckprobe haben diese Stäbe entsprechend den Trägheitsmomenten der Einzelwinkel und nicht mit demjenigen des ganzen Kreuzprofils gearbeitet;

β. die Nieten die Nietlöcher satt ausfüllen;

γ. die Schwächung der Stabquerschnitte durch Nietlöcher durchschnittlich ca. 12% nicht überschreitet.

e. Hinsichtlich der Einflüsse der Nietung, insbesondere der Verschwächung des Stabquerschnitts durch Nietlöcher, sowie der Lage der Nietlöcher im Querschnitt ist das Flusseisen im allgemeinen empfindlicher als das Schweisseisen.

f. Die Durchbiegung der Druckstäbe mit Längenverhältnissen $l : k >$ ca. 100 erfolgt in der Regel allmälig und sind die Formänderungen vorwiegend elastischer Art. Stäbe mit Längenverhältnissen $l : k <$ ca. 100 verbiegen sich meist plötzlich, oft erst an der Grenze des Tragvermögens; die Formänderungen tragen sodann der Hauptsache nach den Charakter unelastischer Körper.

g. Die Richtung der Durchbiegung korrespondiert in der Regel mit der Richtung des kleinsten Trägheitshalbmessers des Stabquerschnitts.

h. Das Tragvermögen der Stäbe an der Grenze hängt von deren Längenverhältnisse ab. Stäbe mit Längenverhältnissen

beim *Schweisseisen:*	beim *Flusseisen:* (mit einer Zugfestigkeit $\leq$ 4,0 *t* pro cm^2):
$\frac{l}{k} <$ ca. 112	$\frac{l}{k} \leq$ ca. 105

folgen dem Euler'schen Gesetze und sind die Knickspannungen und Knickungskräfte ausgedrückt durch:

$$\beta_k = 19740 \left(\frac{k}{l}\right)^2 t \text{ pro } cm^2; \qquad \beta_k = 21220 \left(\frac{k}{l}\right)^2 t \text{ pro } cm^2.$$

$$N = F\beta_k = 19740\, F\left(\frac{k}{l}\right)^2 t; \qquad N = F\beta_k = 21220\, F\left(\frac{k}{l}\right)^2 t.$$

Den Konstanten vorstehender Formeln entspricht ein *Elasticitätsmodul* von:

$$\varepsilon = 2000\ t \text{ pro } cm^2; \qquad \varepsilon = 2150\ t \text{ pro } cm^2.$$

i. Stäbe mit Längenverhältnissen

beim *Schweisseisen:*	beim *Flusseisen* (mit einer Zugfestigkeit $\leq$ 4,0 *t* pro cm^2):
$\frac{l}{k}$ = ca. 10 bis ca. 112	$\frac{l}{k}$ = ca. 10 bis ca. 105

folgen dem Euler'schen Gesetze nicht (vergl. Taf. III u. IV) und bestätigen unsere Versuche, dass in diesem für das Konstruktionsfach besonders wichtigem Intervalle das Tragvermögen der Stäbe in Schweiss- und Flusseisen mit abnehmenden Längenverhältnissen angenähert proportional wächst und die Knickspannungen und Knickungskräfte durch folgende Formeln ausgedrückt werden können:

$$\beta_k = 3{,}03 - 0{,}0129\,\frac{l}{k}\ t \text{ pro } cm^2; \qquad \beta_k = 3{,}10 - 0{,}0114\,\frac{l}{k}\ t \text{ pro } cm^2;$$

$$N = \left[3{,}03 - 0{,}0129\,\frac{l}{k}\right] F; \qquad N = \left[3{,}10 - 0{,}0114\,\frac{l}{k}\right] F \text{ in } t.$$

k. Für härtere Flusseisensorte (für solche mit mehr als 40 *t* Zugfestigkeit) *darf der Elasticitätsmodul zu:*

$$\varepsilon = \text{ca. } 2240\ t \text{ pro } cm^2$$

angenommen werden. Für solches Eisen sind Knickspannungen und Knickungskräfte nach folgenden Formelgruppen zu berechnen:

bei Stäben mit Längenverhältnissen

$\frac{l}{k} >$ ca. 105	$\frac{l}{k}$ = ca. 10 bis 105
$\beta_k = 22200 \left(\frac{k}{l}\right)^2 t$ pro cm^2;	$\beta_k = 3{,}21 - 0{,}0116\,\frac{l}{k}\ t$ pro cm^2;
$N = 22200\, F\left(\frac{l}{k}\right)^2 t;$	$N = \left[3{,}21 - 0{,}0116\,\frac{l}{k}\right] F\ t.$

l. Unter zu Grundelegung einer mittleren Druckfestigkeit des Schweiss- und Flusseisens von beziehungsweise 3,03 und 3,10 t pro cm² und unter Benützung der unter lit. g und i angeführten Grundformeln, liefert die Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel:

$$\beta_k = \frac{\beta_d}{1 + \eta \left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

folgende Werte des Knickungskoeffizienten:

	Schweisseisen;		*Flusseisen.*	
für $\frac{l}{k}$ =	10 wird: η =	0,000448;	10 wird: η =	0,000370;
=	20 » =	0,000235;	20 » =	0,000200;
=	30 » =	0,000164;	30 » =	0,000133;
=	40 » =	0,000129;	40 » =	0,000109;
=	50 » =	0,000109;	50 » =	0,000088;
=	60 » =	0,000096;	60 » =	0,000078;
=	70 » =	0,000088;	70 » =	0,000071;
=	80 » =	0,000082;	80 » =	0,000065;
=	90 » =	0,000078;	90 » =	0,000061;
=	100 » =	0,000075;	100 » =	0,000058;
=	110 » =	0,000074;	110 » =	0,090064;
=	120 » =	0,000084;	120 » =	0,000077;
=	130 » =	0,000094;	130 » =	0,000086;
=	140 » =	0,000102;	140 » =	0,000095;
=	160 » =	0,000115;	160 » =	0,000107;
=	180 » =	0,000122;	180 » =	0,000116;
=	200 » =	0,000130;	200 » =	0,000122;
=	220 » =	0,000132;	220 » =	0,000125;
=	240 » =	0,000134;	240 » =	0,000128;
=	250 » =	0,000136;	250 » =	0,000130.

Aus vorstehenden Zahlenreihen geht hervor, dass der Knickungskoeffizent η der *Schwarz-Rankine'schen Formel* weder konstant ist noch durch *eine* Funktion von $\frac{l}{k}$ sich ausdrücken lässt.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort 3

1. Ursachen der Knickerscheinungen, Grundformeln. . . 5

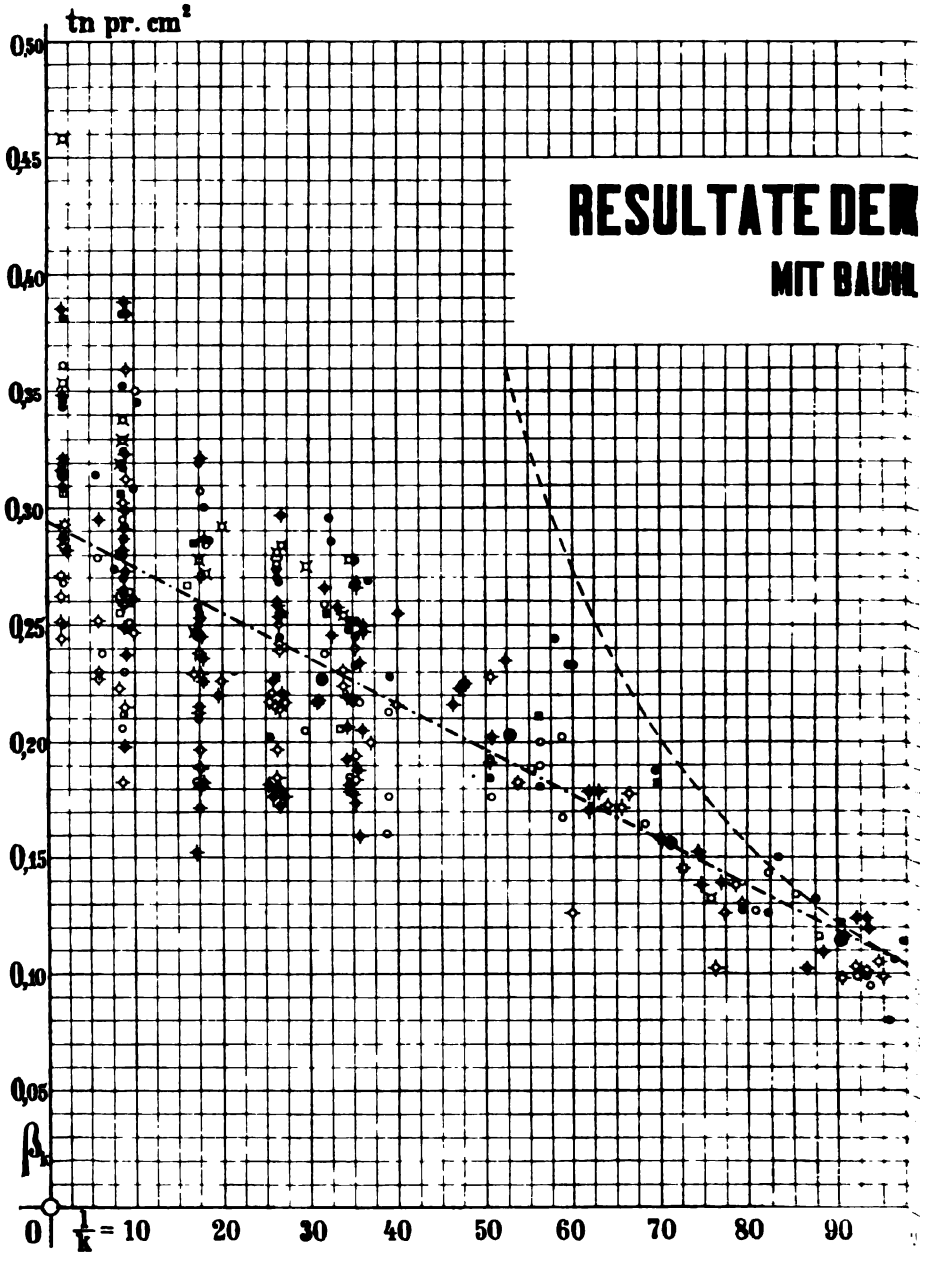
2. Über die Auswahl, Form und Bearbeitung des Versuchsmaterials.
   - a) Bauholz 14
   - b) Gusseisen 16
   - c) Schmiedbares Eisen 17

3. Einspannung der Probekörper und Art der Versuchsausführung.
   - a) Bauholz 20
   - b) Gusseisen 23
   - c) Schmiedbares Eisen 26

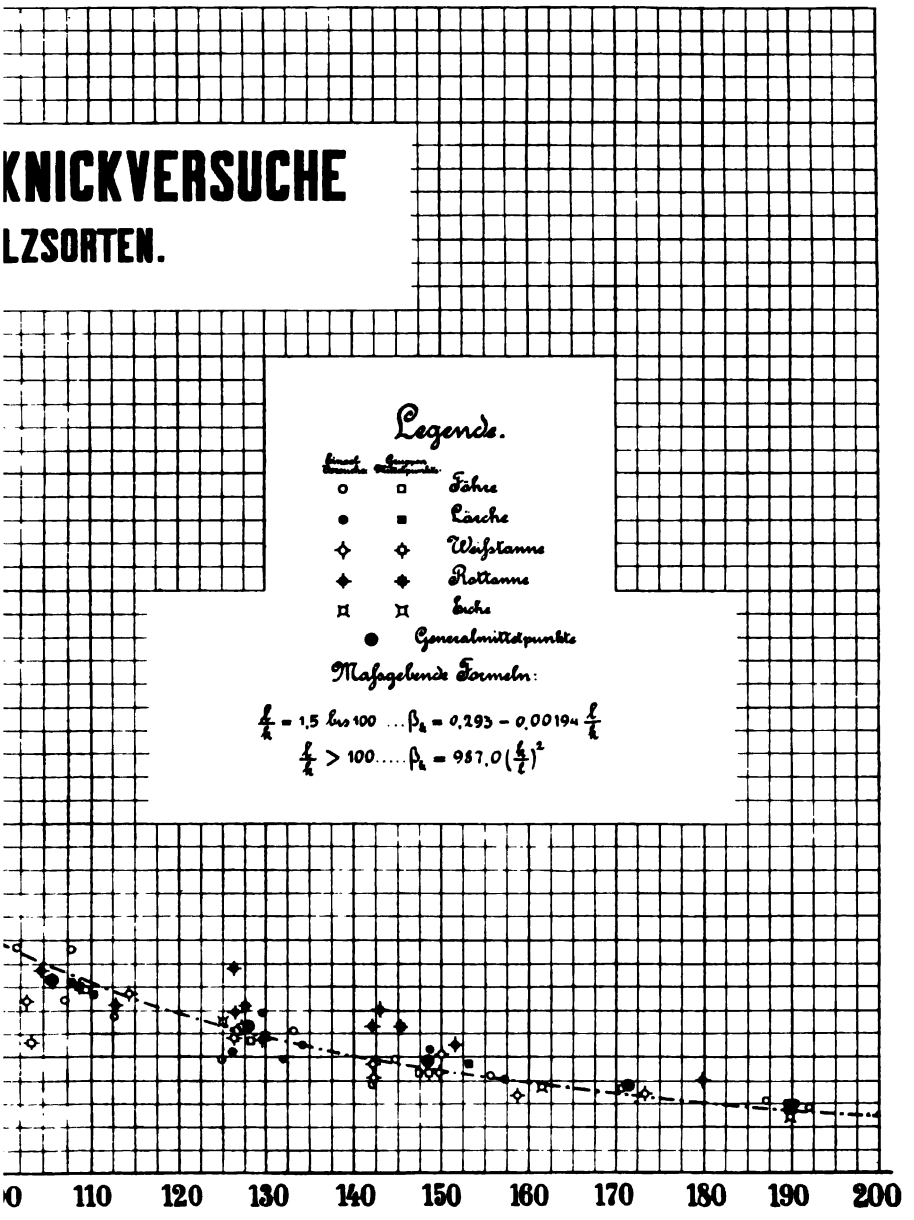
4. Resultate der Knickungsproben.
   - I. Abteilung: Bauholz 26
     - Zusammensetzung der Resultate; Knickungsformeln . . 41
   - II. Abteilung: Gusseisen 45
     - Zusammenstellung der Resultate; Knickungsformeln . . 62
   - III. Abteilung: Schweisseisen 66
   - IV. Abteilung: Flusseisen 73
     - Zusammenstellung der Resultate; Knickungsformeln . . 76

Im Anhange:

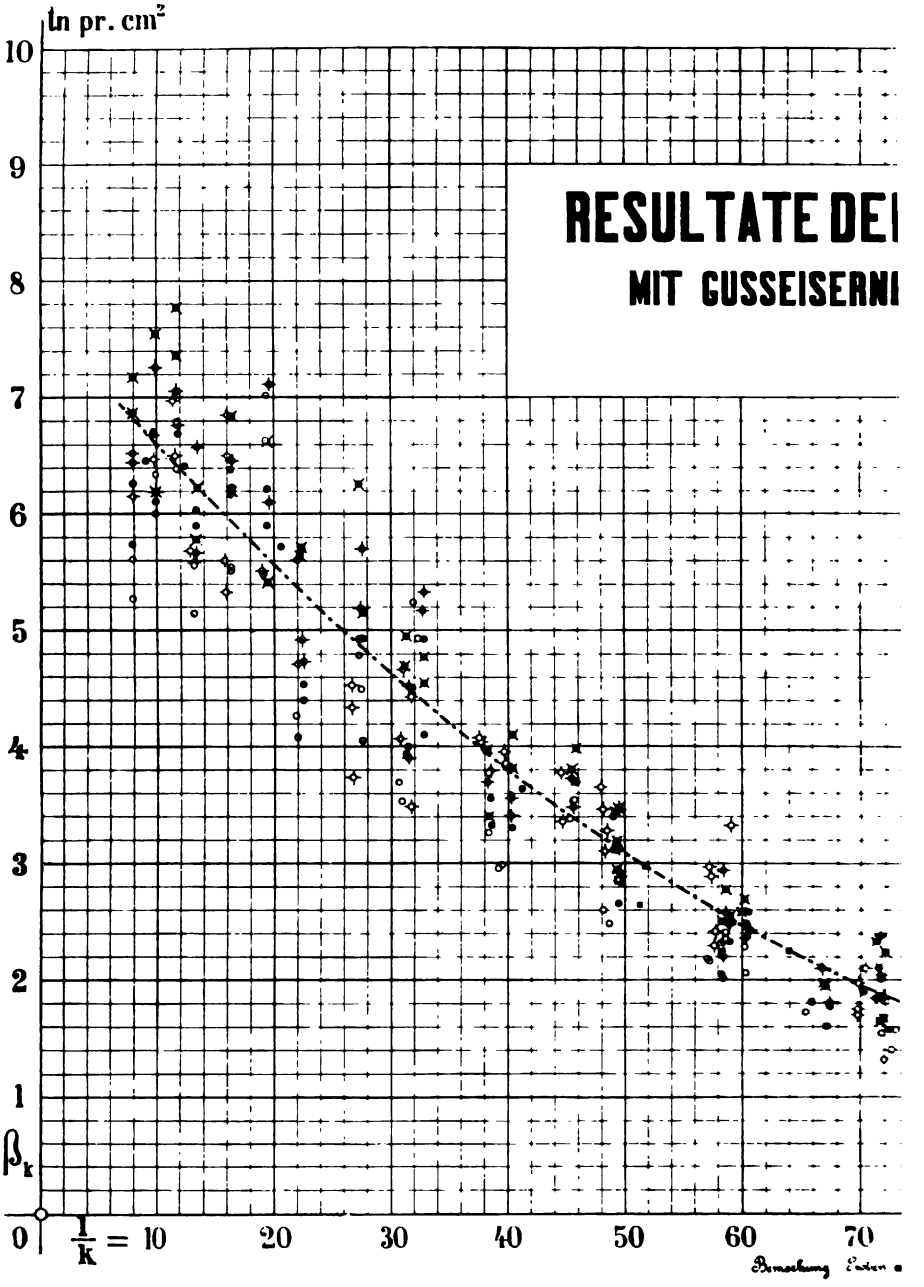
4 Tafeln mit graphischen Darstellungen der Versuchsresultate.


tn pr. cm²
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
β
0
1/k = 10
20
30
40
50
60
70
80
90
RESULTATE DER
MIT BAUM

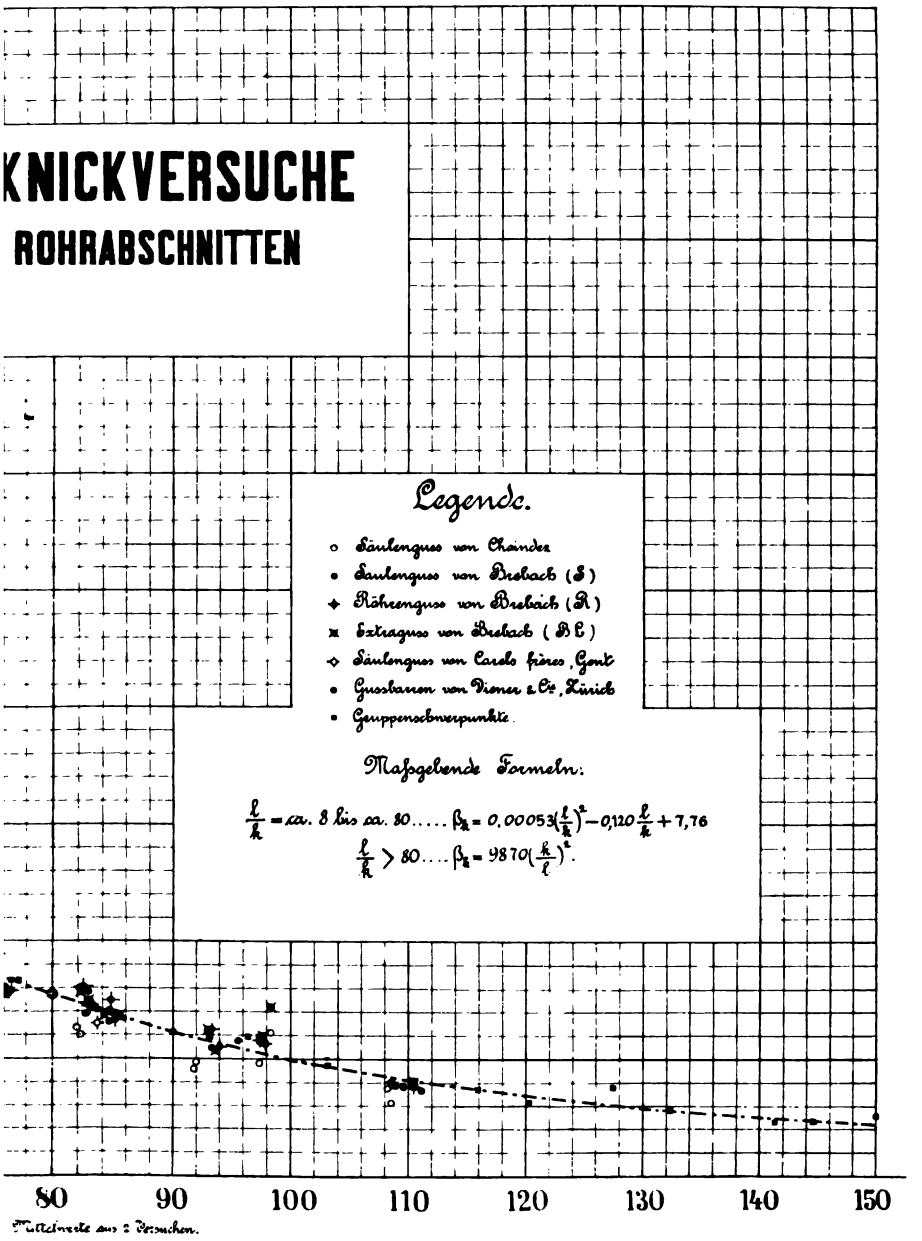
Taf. I.



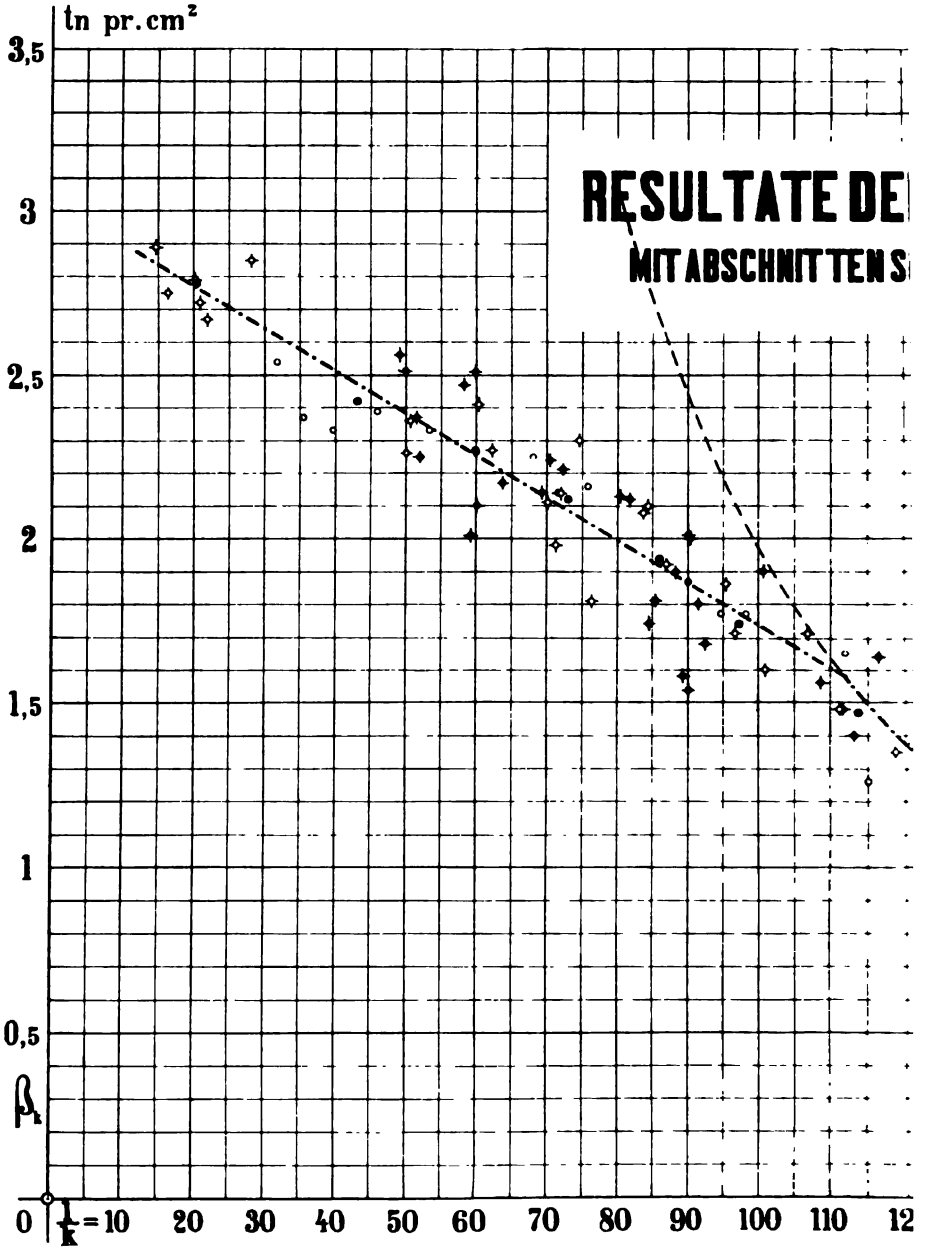
Zinkographie von Brunner & Hauser, Zürich.


tn pr. cm²
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
β_k
0
$\frac{1}{k}$ = 10
20
30
40
50
60
70
RESULTATE DE
MIT GUSSEISERNI

Taf. II.

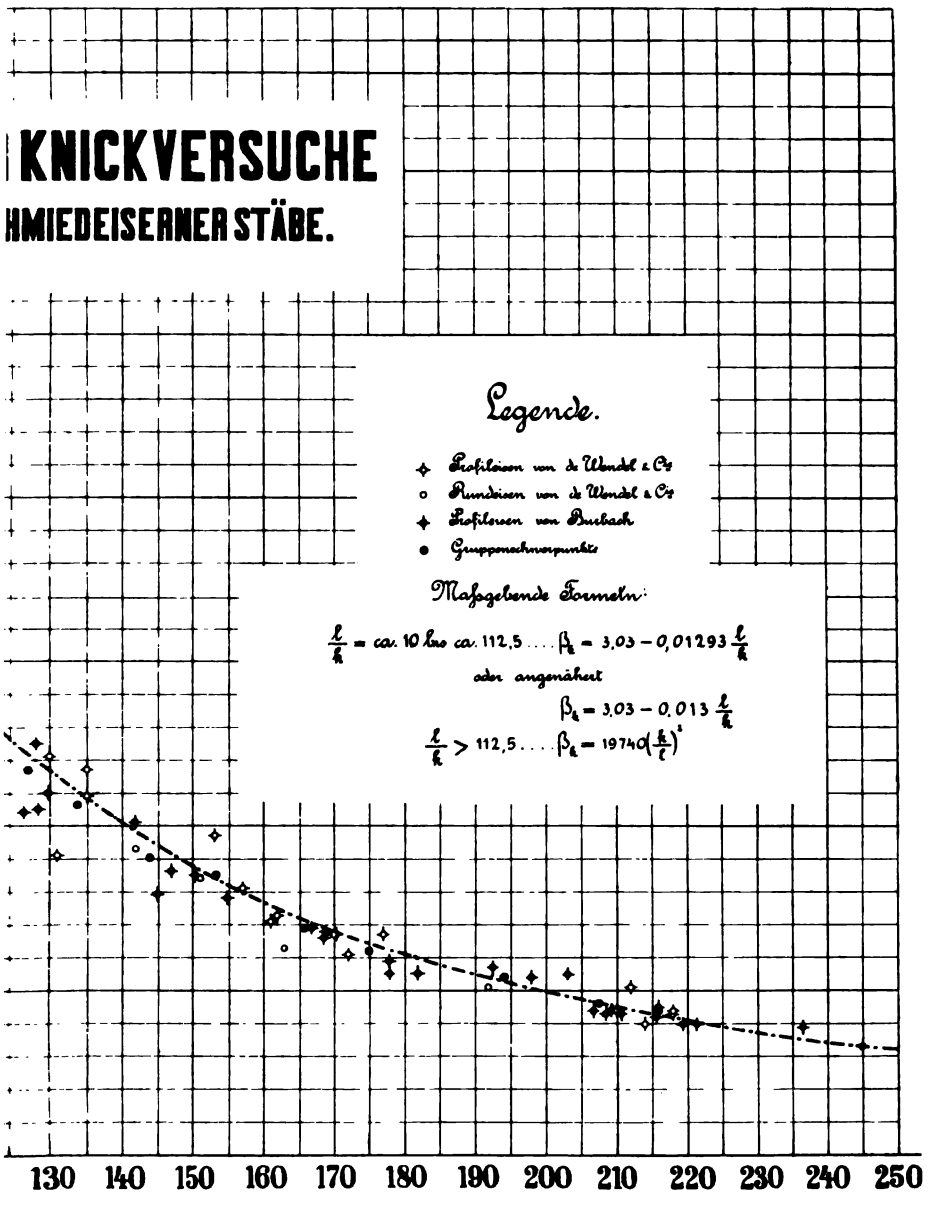


Zinkotypie von Brunner & Hauser, Zürich.

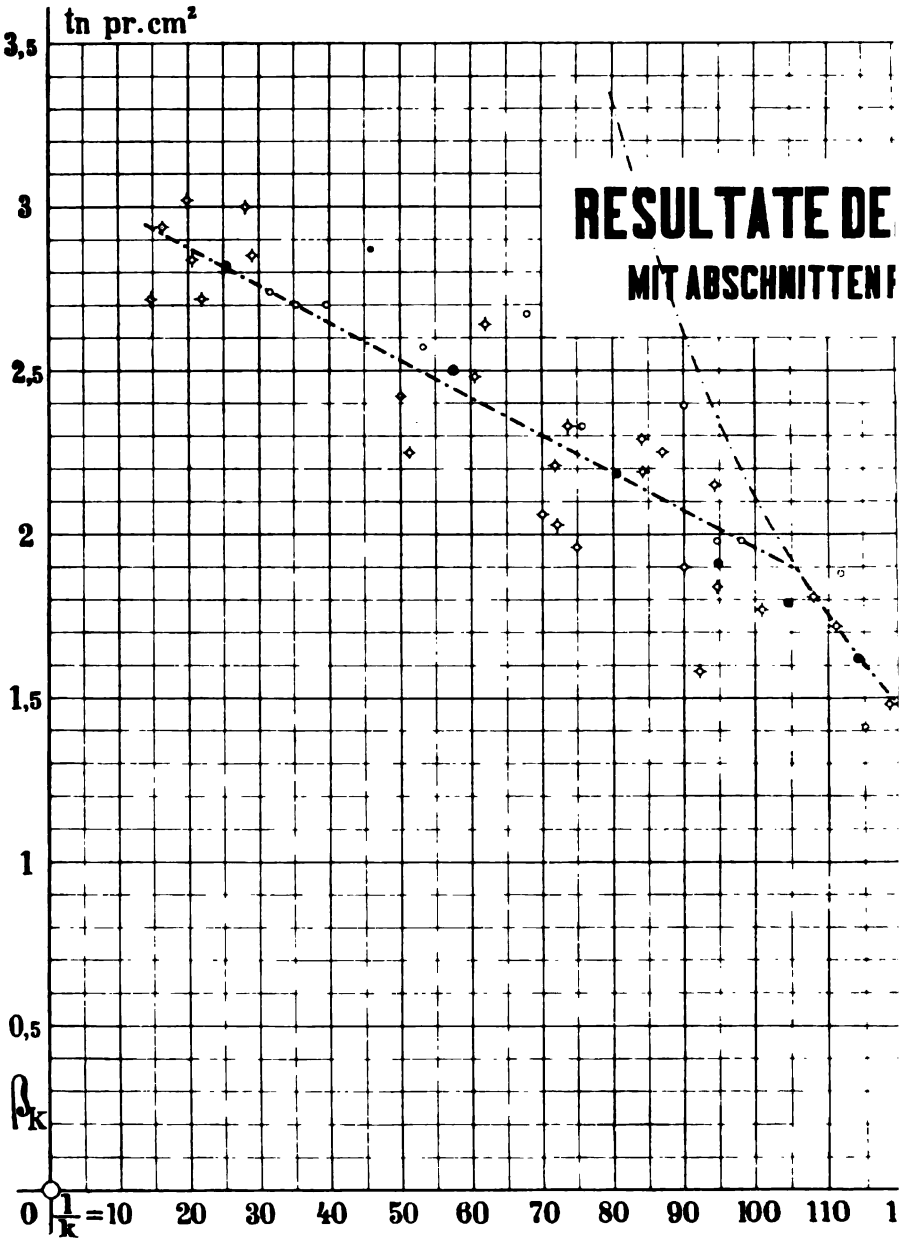

tn pr.cm²
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
β
0
1/k = 10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
12
RESULTATE DE
MIT ABSCHNITTEN S

Taf. III.

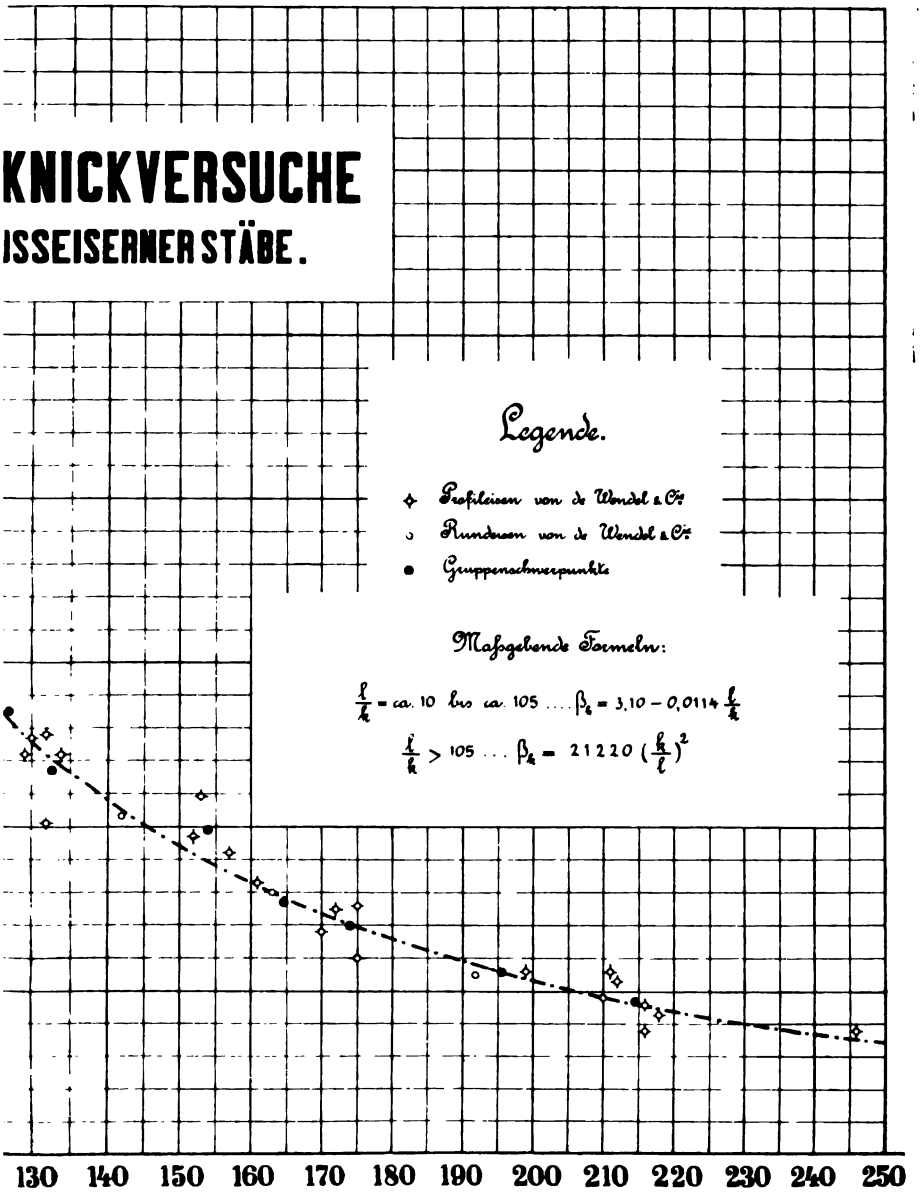
KNICKVERSUCHE
HMIEDEISERNER STÄBE.



Zinkotypie von Brunner & Hauser, Zürich.


tn pr.cm²
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
β_k
0
$\frac{1}{k}$=10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
1
RESULTATE DE
MIT ABSCHNITTEN

KNICKVERSUCHE
ISSEISERNER STÄBE.



Zinkotypie von Brunner & Hauser, Zürich.

Mitteilungen
der Materialprüfungs-Anstalt
am schweiz. Polytechnikum in Zürich.

VIII. Heft.

Die Gesetze der Knickungs- und der zusammengesetzten Druckfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe.

Bearbeitet von

Prof. **L. Tetmajer,**
Direktor der Materialprüfungs-Anstalt.

Zweite vervollständigte Auflage.

Selbstverlag der Anstalt.

ZÜRICH
Druck von A. Markwalder, Bleicherweg 10.
1901.

Vorwort zur ersten Auflage.

Vorliegendes Heft der Mitteilungen der Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum enthält die Zusammenstellung der Versuche, welche zu verschiedenen Zeiten in der Absicht unternommen wurden, die vielfach ventilierte Frage der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe abzuklären. Seit *Hodgkinson* haben sich berufene Männer der Praxis und der Wissenschaft in einer fast ununterbrochenen Kette teils experimenteller, teils mathematischer Arbeiten mit der Frage der gesetzmässigen Änderungen des Tragvermögens gedrückter Stäbe durch Änderung ihrer Längenverhältnisse beschäftigt, ohne indessen zu einem abschliessenden Resultate zu gelangen. Selbst *Bauschinger* blieb es vorenthalten, das Verhalten der unterschiedlichen Baustoffe in der erweiterten Druckprobe abzuklären, obschon gerade *Bauschinger* es gewesen, der durch Einführung der Spitzenlagerung seiner Versuchskörper dem Wesen der Knickungsvorgänge und damit jenem der Knickungsgesetze näher trat, als irgend einer seiner Fachgenossen. So hat *Bauschinger* als erster auf experimentellem Wege die Richtigkeit der in Misskredit gebrachten Knickungsformel *Euler's* nachgewiesen, ohne jedoch deren Gültigkeitsgrenzen festzustellen und ohne das für das Konstruktionsfach so wichtige Gebiet der Längenverhältnisse zwischen dem reinen Druck und den Knickungsvorgängen mit vorwiegend elastischem Charakter aufzuschliessen. Dass *Bauschinger* dieses Gebiet unabgeklärt liess, lag lediglich in der Unzulänglichkeit seiner Hülfsmittel. Mit einigen wenigen, noch so exakt durchgeführten Versuchen war auf fraglichem Gebiete ein abschliessendes Resultat nicht zu erreichen, und wenn es in der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt gelungen ist, *Bauschinger's* Befund zu bestätigen, die Gültigkeitsgrenzen der *Euler*'schen Formel festzulegen und das Verhalten der technisch wichtigsten Baustoffe auch im Intervalle der vorwiegend unelastischen Knickungsvorgänge abzuklären, so ist das Resultat in erster Linie dem Opfersinne einiger Materialproduzenten zu danken, die nicht scheuten, das Versuchsmaterial in den erforder-

lichen Mengen (Gusseisen ca. 13,0 *t*; schmiedbares Eisen ca. 16,0 *t* etc. etc.) zu liefern. Das Versuchsmaterial zu unseren ersten Arbeiten haben kostenfrei geliefert:

die p. t. Forstverwaltungen der Kantone *Aargau, Bern, Graubünden, St. Gallen, Waadt* und *Wallis;*
die p. t. Forstverwaltung der *Stadt Zürich;*
die Direktion der Halbergerhütte der HH. *R. Böcking & Co.*, Brebach;
die Direktion der Giesserei der HH. *Gebr. Carels* in Gent;
» » der *von Roll'schen* Eisenwerke in Choindez;
» » der *Burbacher Hütte* in Burbach-Malstatt;
» » der Werke der HH. *de Wendel & Co.* in Hayange.

Zur Ausführung der Knickungsversuche mit gusseisernen Rohrabschnitten reichte die disponible Kraft der *Werder*-Maschine der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt nicht mehr aus und wir sahen uns genötigt, neuerdings die Gefälligkeit des Herrn Ingr. *E. Roussel,* Chef der Materialversuchs-Anstalt der belgischen Staatsbahnen zu Malines, in Anspruch zu nehmen, welcher nicht müde wird zu helfen, wenn es sich um Förderung wissenschaftlicher Interessen handelt. Es erwächst uns lediglich nur die angenehme Pflicht, dem Verwalter der belgischen Staatsbahnen, Herrn Generaldirektor *Schaar,* für die kostenfreie Überlassung der grossen Kirkaldy-Maschine der Maliner Versuchs-Anstalt, Herrn Ingr. *E. Roussel* für sein kollegiales Entgegenkommen und seine vielfachen Bemühungen hiermit Anerkennung und den wärmsten Dank auszusprechen.

Eine Reihe von Resultaten unserer Knickungsversuche mit Holz wurden bereits im Jahre 1888 in der *Schweiz. Bauzeitung* (Bd. XI, Nr. 18) veröffentlicht. Die Ergebnisse der Knickungsproben mit schmiedbarem Eisen haben wir im 4. Hefte der offiziellen Mitteilungen unserer Anstalt veröffentlicht. Des Zusammenhangs willen mit Ergebnissen späterer Versuche, ferner um einige Druck- und Schreibfehler, die in die Zahlenreihen des 4. Heftes eingeschlichen sind, richtig zu stellen, gelangen im vorliegenden Hefte auch die älteren Versuchsreihen zum nochmaligen Abdrucke.

Möge sich vorliegende Arbeit in jenen Kreisen, welchen sie zu dienen berufen ist, als zeitgemäss und nutzbringend erweisen.

ZÜRICH, im Frühjahr 1896.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Zur Ergänzung unserer experimentellen Untersuchungen über das Verhalten der technisch wichtigsten Baustoffe in der erweiterten Druckprobe wurden in den Jahren 1899 und 1900 eine Reihe von Versuchen ausgeführt, welche neues Licht in das Wesen der Knickungsvorgänge bringen, wohl auch manches Interesse bezüglich der konstruktiven Durchbildung zusammengesetzter Druckstreben besitzen. Seines Umfangs wegen musste auf eine Unterbringung des gewonnenen Zahlenmaterials in einer technischen Zeitschrift von vorneherein verzichtet werden, und blieb nichts übrig, als die Resultate der neuen Versuchsreihen in Verbindung mit den ältern in einer neuen Auflage des VIII. Heftes unserer Mitteilungen vor die Öffentlichkeit zu bringen.

Das versuchsgerecht appretierte Material zu den neuen Versuchsreihen haben in dankenswerter Bereitwilligkeit kostenfrei geliefert:

das *Eisenwerk* Kaiserslautern; Brückenbau-Abteilung;
die *Gute-Hoffnungshütte* Oberhausen; Brückenbau-Abteilung, Sterkrade;
» *Maschinenbau-A.-G.* Nürnberg; Brückenbau-Abteilung;

ferner

die HH. *Bell & Co.*, Brückenbau-Anstalt, Kriens;
» » *Buss & Co.*, Brückenbau-Anstalt, Basel;
» » *Schröder & Co.*, Brückenbau-Anstalt, Brugg.

32 der 6 *m* langen, aus 4 Zehner- bezw. Zwölfer Winkeln gebildeten Druckstäbe mussten zur Ausführung der geplanten Knickversuche einer ausländischen Materialprüfungs-Anstalt ausgeliefert werden, weil die in der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt befindlichen Maschinen sich abermals als nicht ausreichend kräftig erwiesen haben. Diesmal war es die k. preuss. mechan.-techn. Versuchs-Anstalt zu Charlottenburg, welche, gegen Entrichtung ermässigter Gebühren, die Ausführung dieser Versuche zu übernehmen die Güte hatte. Wir nehmen gerne diesen Anlass wahr, um der Verwaltung dieser Anstalt für die gewährte Hülfe bei

Abwicklung unserer Versuche den verbindlichsten Dank auszudrücken. Die Resultate der zu Charlottenburg ausgeführten Versuche sind als Controll-Versuche für uns aus dem Grunde von besonderer Wichtigkeit, weil sie unsere Knickformeln und die Zulässigkeit der Suppositionen bei ihrer Verwendung bestätigen.

ZÜRICH, im Januar 1901.

I. Einleitung.

Der Endzweck der Untersuchung des Verhaltens eines Baumaterials in der erweiterten Druckprobe ist die Schaffung sicherer Grundlagen für die Dimensionenberechnung; sie sollen gestatten, die Abmessuugen eines auf centrischen oder excentrischen Druck in Anspruch genommenen Organes eines Bauwerks mit bestimmter Sicherheit gegen Erreichen der Elastizität- oder aber gegen die Kohäsionsgrenze zu ermitteln. Dem Vorschlage *v. Bach's*, die fraglichen Abmessungen gedrückter Stäbe vom Standpunkte einer zulässigen Durchbiegung zu ermitteln, wird man so lange ablehnend gegenüberstehen, als das Abhängigkeitsverhältnis der Formänderung und Materialinanspruchnahme zur Bruchbelastung unabgeklärt bleibt. Allein auch wenn dies erreicht sein wird, wird die Eingrenzung der Durchbiegung bei nicht federnden Materialien, wie Stein, zu keinem brauchbaren Resultat führen; andererseits wird man auch bei federnden Materialien Fall für Fall der Mühe nicht enthoben sein, rechnerisch den Nachweis des Vorhandenseins derjenigen Sicherheit gegen Bruch beizubringen, den die Öffentlichkeit zu fordern berechtigt ist. Mit der zuletzt aufgeführten Arbeit findet jedoch die Frage überhaupt ihre Erledigung und ein mehreres scheint sodann entbehrlich.

Die Einführung eines Sicherheitsgrades gegen Elasticitätsgrenze ist der Wahl einer zulässigen Durchbiegung ziemlich gleichwertig; dieser Vorschlag scheitert an dem Umstande, dass verschiedene wertvolle Baustoffe, wie z. B. die künstlichen und natürlichen Bausteine, deren Bindemittel, das Gusseisen u. d. m. feste *Elasticitätsgrenzen* überhaupt nicht besitzen, von einer Sicherheit gegen Erreichen derselben also auch nicht gesprochen werden kann.

Auf Grund dieser Überlegungen gelange ich nach wie vor zu dem Schluss, dass es Aufgabe der experimentellen Untersuchung der Festigkeitseigenschaften der Baumaterialien sein muss, Mittel und Wege zu finden, auf welchen die Ausmittlung der Querschnittsabmessungen auf Druck beanspruchter

prismatischer Stäbe mit bestimmter Sicherheit gegen Bruch, gegen das Überschreiten der Kohaesionsgrenze durchgeführt werden kann. Ist dies geschehen, so werden sich die der normalen Dienstlast entsprechenden Spannungszustände, Grösse der Formänderungen der Konstruktion in einer gesonderten Rechnung ohne weiteres feststellen lassen.

Bei den folgenden Untersuchungen und rechnerischen Arbeiten ist das Proportionalitäts-Gesetz, sowie die Konstanz des Elasticitäts-Moduls vorausgesetzt und gesucht, soferne Rechnung und Beobachtung divergieren, und dies wird im Belastungsintervalle jenseits der Elasticitätsgrenze, insbesondere an der Kohäsionsgrenze der Fall sein müssen, durch *Einführung geeigneter Erfahrungs-Koeffizienten* die fehlende Übereinstimmung herzustellen. Fachgenossen gegenüber ist die Bemerkung überflüssig, dass die für die Kohäsionsgrenze aufgestellten Erfahrungs- oder Vermittlungskoeffizienten für andere Belastungszustände keine Gültigkeit haben. Dessenungeachtet wird auch gegenwärtig noch mannigfach die Gültigkeit der für diese Grenze hergeleiteten Koeffizienten auch auf andere Belastungsintervalle ausgedehnt. So finden wir in der s. g. *Schwarz-Rankine*'schen Knickungsformel den Koeffizienten η für die Grenze der Tragkraft, also für

$$\beta_k = \frac{\beta_{max}}{1 + \eta \left(\frac{l}{i}\right)^2} \text{ ausgemittelt und in: } \sigma_k = \frac{\sigma_d}{1 + \eta \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

unverändert beibehalten, worin

σ_d die zulässige Inanspruchnahme des Materials auf Druck,

σ_k diejenige auf Knickung bedeutet.

Zur Ausgleichung der Unterschiede zwischen Rechnung und Beobachtung lässt sich zuweilen mit Erfolg auch ein veränderlicher Elasticitäts-Modul verwenden. Dieses Verfahren kann namentlich bei Baustoffen, wie bei Steinmaterialien, bei Bindemitteln und deren Abkömmlingen, bei Gusseisen und anderen Stoffen in Betracht fallen, welche dadurch gekennzeichnet sind, dass sie keine feste Elasticitäts-Grenze besitzen, dem Proportionalitäts-Gesetze nicht folgen und in den grundlegenden Festigkeitsproben mehr oder weniger stetige, doch parabolisch verlaufende Schaubilder (Diogramme) liefern. Im Gegensatz zu diesen stehen die duktilen oder zähen Baustoffe mit aus-

gesprochenen Elasticitätseigenschaften, welche dem Proportionalitätsgesetze folgen und nach Überschreiten der Proportionalitätsgrenze oft plötzlich eintretende Zustandsänderung erfahren, die sich im Schaubilde durch eine meist unermittelte Richtungsänderung der Begrenzungslinie kund giebt. Während bei Materialien der erstgenannten Art eventuell, unter Anwendung eines variablen Elasticitäts-Moduls sich das Knickungs-Gesetz durch *eine Gleichung* darstellen lässt, bleibt dies bei der zweiten Gruppe von Baustoffen ausgeschlossen. Bei Materialien dieser Kategorie wird man genötigt sein, für jeden *charakteristischen Zustand des Materials ein besonderes Gesetz* aufzustellen.

II. Ursachen der Knickerscheinungen; Grundformeln.

Wird ein prismatischer Stab der Wirkung einer centrisch angreifenden Druckkraft N ausgesetzt, so erfahren dessen kleinste Teilchen Lagenänderungen, deren Inbegriff wir als Formänderung des Stabes wahrnehmen. Diese besteht in einer Verkürzung des Stabes bei gleichzeitiger Breitung in den Querrichtungen. Bei Materialien, die dem Elasticitäts- und Proportionalitätsgesetze folgen, erfahren die Stäbe bei Inanspruchnahmen innerhalb der Elasticitätsgrenze vorwiegend elastische, d. h. solche Formänderungen, die nach Wegnahme der Belastung wieder verschwinden. Bei Inanspruchnahmen jenseits dieser Grenze sind sie vorwiegend unelastischer Art und die bleibenden Formänderungen desto grösser, je mehr sich die Belastung der Kohäsionsgrenze des Materials nähert, bei welcher entweder Trennung der Teile (das Zermalmen), lokales Ineinanderschieben der Fasern (z. B. bei Holz), oder eine plastische Deformabilität (bei zähen Metallen) eintritt.

Diese Vorgänge sind bei homogenen Materialien und Stäben von regulativ geringer Länge zu beobachten. Relativ lange Stäbe verlieren unter Biegungserscheinung oft lange vor dem Erreichen der Kohäsionsgrenze des Materials ihre Tragkraft. An der

Grenze des Tragvermögens treten solche Stäbe in einen labillen Gleichgewichtszustand; sie verlieren ihr Tragvermögen durch Hinzutritt an sich geringfügiger Einwirkungen, die eine Vergrösserung der Durchbiegung herbeizuführen im Stande sind, fast plötzlich. Die Stäbe schlagen sich durch und brechen, sofern während der Verbiegung die *Bruchdehnung* des Materials in der meist gespannten Fasern erreicht wird. Diesen Vorgang nennt man »*Knickung*«; die Belastung, die eben noch Knickung hervorruft, die »*Knickungskraft*«. Die auf die Einheit der Querschnittsfläche des Stabes reduzierte Knickungskraft heisst »*Knickspannung*«; wir bezeichnen sie mit β_k. *Knickungsvorgänge* werden stets durch Verbiegung der Stäbe eingeleitet, welche je nach Umständen schon bei relativ geringen Belastungen beginnen, mitunter aber auch erst unmittelbar vor dem Erreichen des Grösstwertes der Tragkraft eintreten, wie dies beispielsweise die folgenden Fälle illustrieren.

Weisstanne (Spitzenlagerung).

Urspr. Balkenlänge: $l_0 = 520{,}2\ cm$; Querschnittsbreite: $b = 14{,}68\ cm$;
wirksame » $l = 539{,}4\ cm$; Querschnittsdicke: $s = 14{,}70\ cm$;
Querschnittsfläche: $F = 215{,}8\ cm^2$;
Trägheitshalbmesser: $i = 4{,}24\ cm$;
massgebendes Längenverhältnis: $\frac{l}{i} = 127{,}2$.

№	Belastung absolut in t	Ausweichung der Balkenmitte in cm wagrecht absolut	wagrecht Differenz	lotrecht absolut	lotrecht Differenz	Knickspannung β_k in t/cm^2 beobachtet	berechnet nach Euler	berechnet nach Tetmajer	Bemerkungen
9	0,50	9,85		15,60					Versuchsobjekt ist ziemlich stark schwindrissig und astknotig.
			0,00		0,00				
	1,00	9,85		15,60					
			0,00		0,00				
	2,00	9,85		15,60					
			0,00		0,00				
	3,00	9,85		15,60					
			0,00		0,00				
	4,00	9,85		15,60					Für die Tragkraft an der Grenze
			0,00		0,00				
	5,00	9,85		15,60					$\beta_k = 0{,}063\ t/cm^2$
			0,00		0,00				
	6,00	9,85		15,60					liefert *Euler's* Formel den
			—0,02		—0,02				
	7,00	9,83		15,58					*Elasticitätsmodul zu:*
			—0,01		0,00				
	8,00	9,82		15,58					$E = \frac{\beta_k \left(\frac{l}{i}\right)^2}{\pi^2} = 103\ t/cm^2$
			—0,02		—0,03				
	9,00	9,80		15,55					
			0,00		—0,02				
	10,00	9,80		15,53					
			—0,01		—0,03				
	11,00	9,79		15,50					
			—0,04		—0,05				
	12,00	9,75		15,45					
			—0,12		—0,15				
	13,00	9,63		15,30					
			—0,17		—0,32				
	,50	9,46		14,98		0,063	0,061	—	Balken wird intakt ausrangiert.
	13,70	*Grenze d. Tragvermögens*							
	0,50	9,85	0,00	15,55	—0,05				

Schmiedeisenstab (Flächenlagerung).

Stab mit Kreuzplatten, der Strebe No. 8 der Mönchensteiner Brücke nachgebildet; Schweisseisen.

Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen von 10,0/10,0/1,4 *cm*;
Strebenlänge: 7,447 *m*; Querschnittfläche: 52,3 *cm*²;
Trägheitshalbmesser, Kleinstwert: 3,82 *cm*;
⊥ u. ‖ zum Anschlussblech: 4,69 *cm*;

№	Belastung absolut in *t*	Ausweichung der Stabmitte in *cm* wagrecht absolut	wagrecht Differenz	lotrecht absolut	lotrecht Differenz	Knickspannung β_k in *t*/*cm*² beobachtet	berechnet nach Euler	berechnet nach Tetmajer	Bemerkungen
10	00,0	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	5,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	10,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	15,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	20,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	25,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	30,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	35,00	7,01		10,00					
			0,00		0,00				
	40,00	7,01		10,00					
			0,01		0,00				
	43,00	7,02		10,00					
			0,00		0,00				
	50,00	7,02		10,00					
			0,01		0,00				
	56,00	7,03		10,00					
			0,00		0,00				
	60,00	7,03		10,00					
			0,01		—0,08				
	65,00	7,04		9,92					
			0,02		—0,06				
	70,00	7,06		9,86					
	72,50	*Verlust d. Tragvermögens.* Richtung der Durchbiegung korrespondiert mit d. Richtung des kleinsten Trägheitshalbmessers des Teilprofils der Querschnittsfläche.				1,39	—	1,76	Versuchsobjekt schlägt sich fast plötzlich durch.

Für eine wirksame Stablänge:
$l = 0{,}5 \times 744{,}7 = 372{,}4$ *cm*
wird die massgebende Stablänge:

$$\frac{l}{i} = \frac{272{,}4}{3{,}82} = 97{,}5;$$

es liefert die Formel:

$$\beta_k = 3{,}03 - 0{,}013 \frac{l}{i}$$

$$\beta_k = 1{,}76 \; t/cm^2.$$

Auf weitere, ähnliche Fälle soll in Nachstehendem noch besonders verwiesen werden.

Die *Knickung* eines prismatischen Stabes wird, wie bereits erwähnt, durch Biegungsvorgänge eingeleitet. Messbare Verbiegungen bedingen messbare Abweichungen der Kraftrichtung und Stabaxe, somit das Auftreten messbarer *Excentricitätshebel*; die ursprünglich gleichmässige Inanspruchnahme des Stabmaterials geht verloren, die Spannungszustände werden ungleichmässig und können bei Materialien, die dem Proportionalitäts-Gesetze folgen, bei Inanspruchnahmen innerhalb der Elasticitätsgrenzen nach der *Navier'schen Spannungsformeln für die zusammengesetzte Normalfestigkeit* berechnet werden.

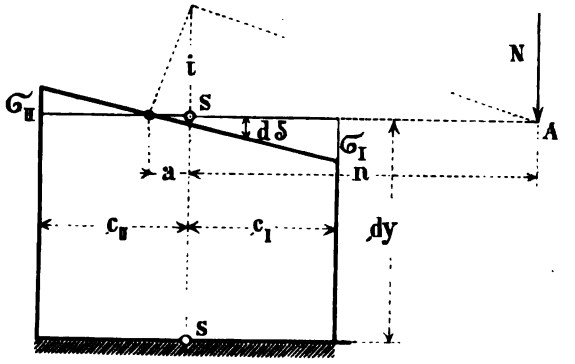


Abb. 1.

Bezeichnet N in t die angreifende Kraft, F in cm^2 den Querschnittsinhalt des ursprünglichen, geraden, prismat. Stabes, $ds = dy$ ein Element desselben,

$\sigma_s = \frac{N}{F}$ = die Schwerpunkts-Spannung,

σ_{I} u. σ_{II} die Kantenspannungen der äussersten, in Abständen c_{I} u. c_{II} vom Schwerpunkte s der Querschnittsfläche liegenden Fasern, so beträgt nach *Navier,* soferne man die Druckspannungen mit —, die Zugspannungen mit + Zeichen versieht:

$$\sigma_{\text{I}} = -\sigma_s - \sigma_b^{\text{I}} = -\left[\sigma_s + \sigma_b^{\text{I}}\right]$$

$$\sigma_{\text{II}} = -\sigma_s + \sigma_b^{\text{II}} = -\left[\sigma_s - \sigma_b^{\text{II}}\right] \quad \text{worin:}$$

$$\sigma_b^{\text{I}} = \frac{M}{J} c_{\text{I}} = \frac{Nn}{J} c_{\text{I}},$$

$$\sigma_b^{\text{II}} = \frac{M}{J} c_{\text{II}} = \frac{Nn}{J} c_{\text{II}} \quad \text{bedeutet.}$$

Fällt A, der Angriffspunkt der Kraft N, auf eine Hauptträgheitsaxe des Endquerschnitts des Stabelementes, so ist J das Trägheitsmoment der Querschnittsfläche für die andere Haupt-Trägheitsaxe und $J : c_1$ bezw. $J : c_{II}$ wären die korrespondierenden Widerstandsmomente.

Fällt A, der Angriffspunkt der Kraft N, nicht auf eine der Hauptträgheitsaxen, so wird man die Nullaxe $C - C$ als Antipolare des Angriffspunktes A bezüglich der Centralellipse des Querschnitts als Ordnungskurve zu ermitteln haben.

Die Schwerpunkts-Spannung beträgt:

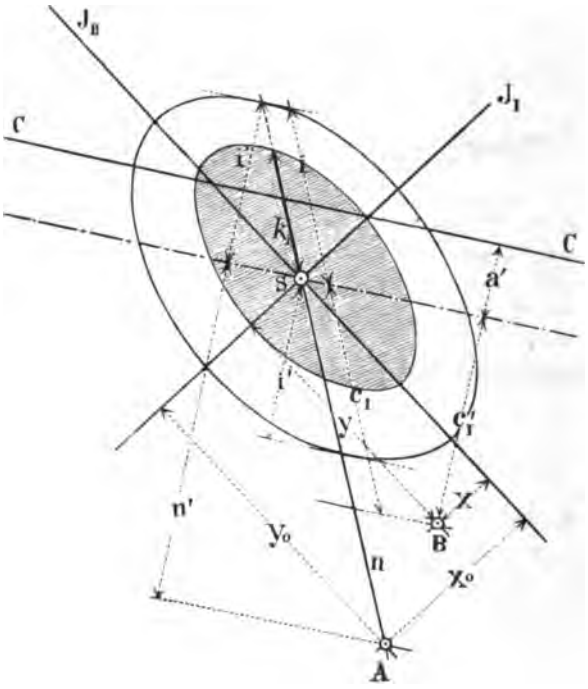


Abb. 2.

$\sigma_s = \frac{N}{F}$; die Kantenspannung σ_1 eines Punktes B am Querschnittsumfange im Abstande c_1' von der zur Nullfaser parallelen Schwerpunktsaxe ist: $\sigma_1 = \sigma_s \left[1 + \frac{c_1'}{a'}\right] = \sigma_s \left[1 + \frac{c_1}{a}\right]$, weil

$\frac{\sigma_1}{\sigma_s} = \frac{a' + c_1'}{a'}$ und $\frac{c_1'}{a'} = \frac{c_1}{a}$, wenn c_1 und a die Länge der Projektionen der Strecken c_1' und a' auf n bedeuten.

Nun ist: $a' . n' = i'^2$ und $a . n = i^2 = c_1 . k_1$, somit:

$\frac{c_1}{a} = \frac{n}{k_1}$ und man erhält mit Rücksicht auf den herrschenden Druck bei σ_1

$$\sigma_1 = -\sigma_s\left[1+\frac{c_1'}{a'}\right] = -\sigma_s\left[1+\frac{c_1}{a}\right] = -\sigma_s\left[1+\frac{n}{k_1}\right] = -\left[\frac{N}{F}+\frac{Nn}{Fk_1}\right] =$$

$$-\left[\frac{N}{F}+\frac{Nn . c_1}{J}\right] = -\left[\sigma_s + \sigma_b'\right]$$

soferne $J = Fi^2$ und i den Trägheitshalbmesser, gemessen in der Richtung des Excentricitätshebels n, bedeutet.

Analog erhält man die grösste Faserspannung auf der gespannten Seite:

$$\sigma_{II} = -\sigma_s\left[1-\frac{c_{II}}{a}\right] = -\sigma_s\left[1-\frac{n}{k_{II}}\right] = -\left[\frac{N}{F}-\frac{Nn}{Fk_{II}}\right]$$

$$= -\left[\frac{N}{F}-\frac{Nn . c_{II}}{J}\right] = -\left[\sigma_s - \sigma_b''\right]$$

Ist der Kern des Querschnitts ermittelt, so wird man die Kantenspannungen am bequemsten nach der Gleichung:

$\sigma_1 = -\sigma_s\left[1+\frac{n}{k_1}\right]$ und $\sigma_{II} = -\sigma_s\left[1-\frac{n}{k_{II}}\right]$ berechnen.

Soll ohne Zuhülfenahme des Kerns gerechnet werden, so zerlegt man das Angriffsmoment Nn nach den Hauptträgheitsaxen und addiert die Wirkungen.

Es seien: x_0 nnd y_0 die Coordinaten des Angriffspunktes A,
x und y die Coordinaten des Punktes, dessen Spannnung σ bestimmt werden soll,
σ_b' , σ_b'' die Biegungsspannungen, welche die Komponenten des Angriffsmomentes Nn erwecken, so erhält man:

$$\sigma = -\left[\sigma_s + \sigma_b' + \sigma_b''\right], \quad \text{worin:}$$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_s &= \frac{N}{F}, \\ \sigma_b^{I} &= \frac{Nx_0}{J_{II}}x \\ \sigma_b^{II} &= \frac{Ny_0}{J_I}y \end{aligned}\right\}$$

J_I bezw. J_{II} die Trägheitsmomente der Quer- und schnittsfläche für die Hauptaxen I und II bedeuten.

Für die meist beanspruchten Fasern (x_I, y_I und x_{II}, y_{II}) würden die Spannungsgleichungen lauten:

$$\sigma_I = -\left[\sigma_s + \frac{Nx_0}{J_{II}} \cdot x_I + \frac{Ny_0}{J_I} y_I\right]$$

$$\sigma_{II} = -\left[\sigma_s - \frac{Nx_0}{J_{II}} x_{II} - \frac{Ny_0}{J_I} y_{II}\right].$$

Aus der allgemeinen Spannungsgleichung:

$$\sigma = \sigma_s\left[1 + \frac{n}{k}\right] \text{ geht für } n = \eta \frac{l^2}{c_I} \text{ und } k = k_I$$

die *Schwarz-Rankine*'schen Knickungsgleichungen hervor. Eingesetzt gibt:

$$\sigma = \sigma_s\left[1 + \eta \frac{l^2}{c_I k_I}\right], \text{ oder da: } c_I k_I = i^2 \text{ ist,}$$

$$\text{wird} \qquad \sigma = \sigma_s\left[1 + \eta \left(\frac{l}{i}\right)^2\right], \quad \text{mithin}$$

$$\sigma_s = \sigma_k = \frac{\sigma}{1 + \eta \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

Nach *v. Bach* bedeutet in der *Schwarz-Rankine*'schen Formel

$$\eta = \frac{\sigma_b}{\varepsilon \pi^2} \cdot m, \quad \text{wo}$$

σ_b die Biegespannung, die das Moment Pn erweckt,
ε den Elasticitätsmodul und
m den gewählten Sicherheitsgrad bedeutet.

Nun ist aber

$$\sigma_b = \sigma_s \frac{n}{k_I} = \sigma_s \frac{n c_I}{i^2}, \quad \text{somit erhält man:}$$

$$\eta = m \cdot \frac{\sigma_b}{\varepsilon \pi^2} = m \cdot \frac{\sigma_s n c_1}{i^2} \cdot \frac{1}{\varepsilon \pi^2} = \frac{m}{\varepsilon \pi^2} \cdot \frac{P}{F} \cdot \frac{n c_1}{i^2}$$

$$= \frac{(mP)}{\varepsilon \pi^2 \frac{J}{l^2}} \cdot \frac{n \cdot c_1}{l^2}, \text{ oder da}$$

$mP =$ Knickkraft nach *Euler* $= N = \varepsilon \pi^2 \cdot \frac{J}{l^2}$ ist, so wird:

$$\eta = \frac{n c_1}{l^2}.$$

Zur Ermittlung des Koeffizienten η der *Schwarz-Rankine*-Formel kann eine der identischen Gleichung:

$$\eta = \frac{n c_1}{l^2} \text{ oder: } \eta = \left[\frac{\sigma}{\sigma_s} - 1\right] \left(\frac{i}{l}\right)^2, \text{ worin } \sigma_s = \frac{P}{F}$$

bedeutet, verwendet werden.

Man sieht, dass η sich mit n ändern muss; von einer Constanz dieses viel umstrittenen Faktors kann somit im allgemeinen nicht die Rede sein. Man erkennt ferner, dass die *Schwarz-Rankine*-Formel nur innerhalb der Elasticitätzgrenze gültig sein kann, weil jenseits derselben die *Navier'*sche Gleichung, welcher sie entstammt, auch ihre Gültigkeit verliert. Für Materialien, die dem Proportionalitäts-Gesetze nicht folgen, nimmt die *Schwarz-Rankine'*sche Formel den Charakter einer *empirischen* Formel an, die überdies falsche Resultate liefern muss, wenn der für die Grenze des Tragvermögens des Materials ermittelte Erfahrungs-Koeffizient η unverändert auch für andere Belastungszustände verwendet wird. Wir werden im Nachstehenden Gelegenheit finden, auf diese Verhältnisse auch noch zahlenmässig zurückzukommen.

Ist die Anfangsexcentricität $n_0 =$ Null, so wird auch solange, als aussergewöhnliche Fehler in der Homogenität des Materials, Astknoten, Gussporen, Differenzen der Dichte u. a. Umstände keine Abweichungen der Kraftrichtung von der Stabaxe erzeugen, die korrespondierende Gesammtexcentricität $n = n_0 + \Delta n_0$, somit auch $\eta =$ Null sein. Das 2te Glied der *Navier'*schen und somit auch des Nenners der *Schwarz-Rankine'*schen Formel verschwindet und es wird

$$\sigma_I = \sigma_{II} = \sigma_s = \sigma_k = \frac{P}{F} = \text{constant},$$

d. h. die *Kantenspannungen σ sind gleich gross und der Schwerpunktsspannung* ($\sigma_s = \sigma_k$) *gleich.*

Knickt also ein ursprünglich centrisch axial belasteter Stab vom Querschnitte F unter einer Last $N = F\beta_k$, so wird bei m-facher Sicherheit die zulässige Belastung:

$$P = \frac{1}{m} N = \frac{1}{m} F\beta_k = F\sigma_k$$

eine Kantenspannung = der Schwerpunktsspannung

$$\sigma_s = \sigma_k = \frac{P}{F}$$

ergeben und bleibt der Stab gradlienig, soferne nur:

1. durch geeignete Massnahmen für das Zusammenfallen der Stabaxe und Kraftrichtung vorgesorgt wird;

2. grobe Materialfehler, welche ungleichartige Stauchvorgänge und damit Abweichungen der Kraftrichtung und Stabaxe erzeugen, nicht vorliegen; und

3. der Sicherheitsgrad hinreichend gross gewählt wird.

Wenn dagegen aus Gründen mangelhafter Ausführung, mangelhafter Geradheit der Stabaxe oder durch grobe Materialfehler veranlasst, Verbiegungen des prismatischen, ursprünglich centrisch belasteten Stabes auftreten, so erleidet das Stabmaterial ungleichartige Inanspruchnahmen, deren Grösse nach der *Navier*'schen Spannungsgleichung für die zusammengesetzte Normalfestigkeit erhältlich sind, soferne nur:

1. die Belastungen sich innerhalb der Elasticitätsgrenze bewegen;

2. Das Stabmaterial selbst den Gesetzen der Proportionalität folgt.

Die Benützung der auf dem Proportionalitäts-Gesetz aufgebauten Formeln jenseits der Elasticitäts- und Proportionalitätsgrenze oder die Anwendung dieser Formeln auf Materialien, die dem Proportionalitäts-Gesetze nicht folgen, führt zu Wider-

sprüchen und Unzukömmlichkeiten. Solche Formeln nehmen in diesem Belastungsintervalle oder für Materialien, die dem Proportionalitätsgesetze überhaupt nicht folgen, den Charakter empirischer Formeln an; sie leisten nicht mehr, als jede andere empirische Gleichung.

III. Formänderungen.

Durch *Biegungsmomente*, welche in Ebenen durch die Stabaxe wirken, werden ursprünglich gerade Stäbe verbogen; die *Nullfasern* sind Schwerpunktsfasern, deren Gesamtheit die *Nullschicht* des deformierten Stabes bildet. Letztere stellt eine cylindrische Fläche dar, deren Leitlinie *elastische Linie* heisst und als geometrischer Ort der Schwerpunktslagen aller Querschnittsflächen definiert ist. Die Gleichung der elastischen Linie, vrgl. Abb. 3,

$$x = f(y)$$

bleibt zu ermitteln.

Excentrische Normalkräfte bewirken Verdrehungen der Stab-Querschnittsflächen um Nullfasern, welche als Antipolaren der Angriffspunkte dieser Kräfte bez. der Centralellipsen der Querschnittsflächen als Ordnungskurven, Schwerpunktsabstände

$$a = \frac{i^2}{n}$$

besitzen, soferne in Anschluss auf Abb. 1, Seite 13, n die Gesamtexcentricität und i den zugehörigen, massgebenden Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche bedeutet.

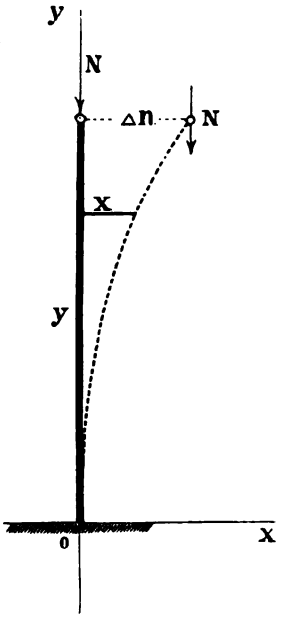


Abb. 3.

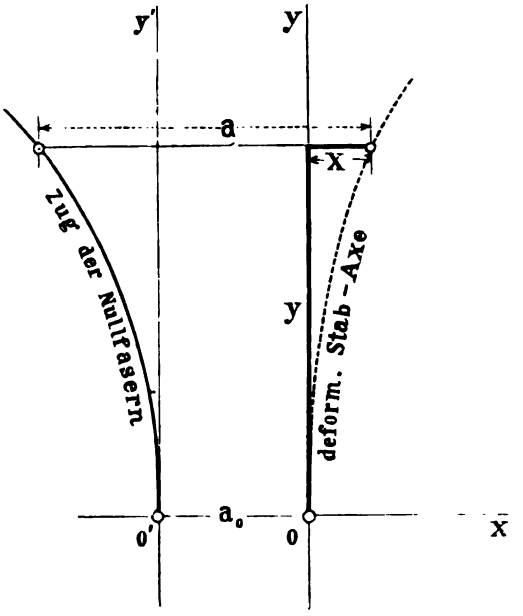


Abb. 4.

Bezogen auf das Coordinatensystem x, y wird die Gleichung der Leitlinie der spannungslosen Schicht:

$$x_0 = x - a = f(y) - a.$$

Für $y = o$ wird x_0 ein

Min. $= a_0 = \frac{i^2}{n}_{max}$.

Für 0' als Ursprung des Coordinatensystems erhält man:

$$x' = x_0 + a_0 = x - a + a_0.$$

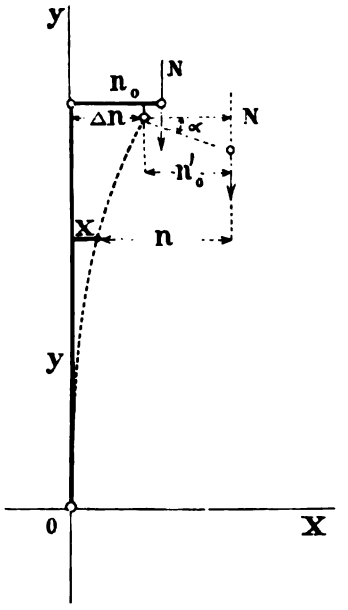


Abb. 5.

Zur Ermittlung von

$$x = f(y)$$

fällt lediglich blos das Moment

$$M = Nn = N(n'_0 + \Delta n - x)$$

in Betracht. Weil α klein, cos α von Null wenig verschieden ist, darf in vorstehendem Ausdrucke

$$n'_0 = n_0$$

gesetzt werden. Die Differentialgleichung der Kurve der Schwerpunktslagen wäre somit:

$$\frac{d^2x}{dy^2} = \frac{M}{\varepsilon J} = \frac{N(n_0 + \Delta n - x)}{\varepsilon J}$$

oder:

$$\frac{d^2u}{dy^2} = -K^2u \quad , \quad \text{wenn}$$

$\frac{N}{\varepsilon J} = K^2$ und $(n_0 + \Delta n - x) = u$ gesetzt wird.

Integriert giebt:

$$u = (n_0 + \Delta n - x) = C_1 \sin (Ky) + C_2 \cos (Ky).$$

Für $y = o$ wird $x = o$ d. h. $C_2 = n_0 + \Delta n$

„ $y = o$ muss aber auch:

$\frac{dx}{dy} = tg\ a = o$ werden , somit ist $C_1 = o$

und die vorstehende Gleichung reduziert sich auf:

$$u = n_0 + \Delta n - x = (n_0 + \Delta n) \cos (Ky), \quad \text{oder:}$$

$$x = (n_0 + \Delta n) \left[1 - \cos (Ky)\right]$$

Für $y =$ der Stablänge l_0 (angenähert, statt: $y = l_0\left[1 - \frac{\sigma_s}{\varepsilon}\right]$, soferne die Stabverkürzung berücksichtigt würde) beträgt die elastische Verbiegung: $x = \Delta n$

$$\Delta n = n_0 + \Delta n - (n_0 + \Delta n) \cos (Kl_0), \quad \text{hieraus:}$$

$$\Delta n = n_0\left[\frac{1}{\cos (Kl_0)} - 1\right] \quad , \quad \text{oder die Gesamtexcentricität:}$$

$$n = n_0 + \Delta n = \frac{n_0}{\cos (Kl_0)} .$$

Vorstehenden Wert in die Gleichung der Schwerpunktslinie ein gesetzt, giebt:

$$x = \frac{n_0}{\cos (Kl_0)} \left[1 - \cos (Ky)\right].$$

Entwickelt man in

$$n = n_0 + \Delta n = \frac{n_0}{\cos (K l_0)}$$

$\cos (K l_0)$ in eine Reihe und ersetzt K durch:

$$K = \sqrt{\frac{N}{\varepsilon J}} = \frac{1}{i}\sqrt{\frac{\sigma_s}{\varepsilon}},$$

so erhält man die Gesamtexcentricität n in der Form:

$$n = \frac{n_0}{1 - 0{,}5\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} + 0{,}0417\left[\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon}\right]^2 - 0{,}0014\left[\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon}\right]^4}$$

Vorstehende Gleichung kann auch zur Berechnung der Anfangs-Excentricität dienen, soferne die Gesamtexcentricität bekannt ist, das Material dem Proportionalitätsgesetze folgt und die Spannungen und Formänderungen des Stabes sich innerhalb der Elasticitätsgrenze bewegen. Die Gleichung vermag nur Näherungswerte zu liefern, wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind.

1. Spezialfall: Anfangsexcentricität $n_0 = o$; der gedrückte Stab ist einseitig unwandelbar eingespannt.

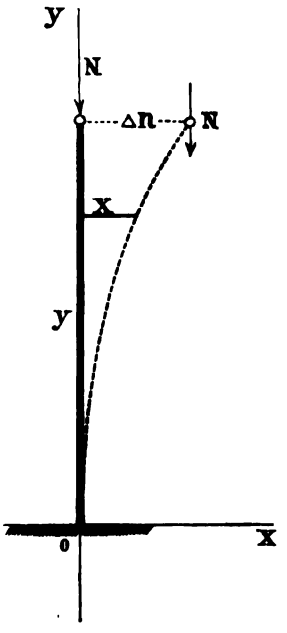


Abb. 6.

Für $n_0 = o$ wird die Gleichung der elastischen Linie

$$x = \Delta n \left[1 - \cos (K y)\right].$$

Unter Annahme einer verschwindend kleinen, elastischen Verbiegung liefert diese Gleichung für

$$y = l_0; \quad x = \Delta n = \Delta n \left[1 - \cos (K l_0)\right]$$

d. h.:

$$o = \cos (K l_0).$$

Vorstehende Gleichung wird befriedigt durch:

$$(K l_0) = \frac{\pi}{2}, \frac{3}{2}\pi, \ \ldots \ \frac{c+1}{2}\pi$$

In unserm Falle ist

$$Kl_0 = \frac{\pi}{2} \text{ d. h. } K = \frac{\pi}{2\,l_0} \text{ zu setzen und}$$

man erhält:

$$x = \Delta n \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{2\,l_0} y\right)\right].$$

$$K = \frac{\pi}{2\,l_0} = \sqrt{\frac{N}{\varepsilon J}} \quad \text{d. h.} \quad N = \frac{1}{4}\pi^2 . \varepsilon . \frac{J}{l_0^2},$$

oder:

$$\frac{N}{F} = \sigma_s = \beta_k = \frac{1}{4}\,\pi^2\,\varepsilon . \left(\frac{i}{l_0}\right)^2.$$

An der Grenze des Gleichgewichts vermag der prismatische Stab von der Länge l_0, bei einem kleinsten Trägheitsmomente $J = Fi^2$ seiner Querschnittsfläche F eine, am Stabende centrisch wirkende Last N eben noch zu tragen, d. h. der Stab knickt unter der Last N bei Hinzutritt irgend welcher äussern Einwirkung, soferne nur das untere Stabende unwandelbar fixiert, das obere dagegen ungehindert Lagenänderungen auszuführen im Stande ist.

2. Spezialfall; Anfangsexcentricität $n_0 = o$; das untere Stabende ist unwandelbar eingespannt, das obere drehbar, doch gegen seitliche Lagenänderung gesichert.

Die aufzubringende Kraft Q verhindert die seitliche Lagenänderung des beweglichen Stabendes. Für diesen Fall wird die Gleichung der elastischen Linie:

$$x = \frac{L^2}{K^2}(l_0 - y) + \frac{L^2}{K^3}\sin(Ky) - \frac{L^2}{K^2} l_0 \cos(Ky)$$

worin:

$$L^2 = \frac{Q}{\varepsilon J} \text{ und } K^2 = \frac{N}{\varepsilon J} \text{ bedeutet.}$$

Ferner wird:

$$N = 2\frac{\pi^2 . \varepsilon J}{l_0^2} = \pi^2\,\varepsilon\,\frac{J}{\left(\frac{l_0}{\sqrt{2}}\right)^2} = \pi^2\,\varepsilon\,\frac{J}{(0{,}707\,l_0)^2}$$

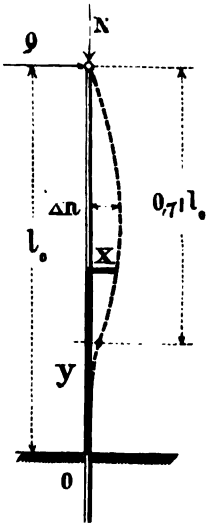


Abb. 7.

$$N = \pi^2 \varepsilon \frac{J}{(0{,}71\, l_0)^2} \quad \text{oder} \quad \sigma_s = \sigma_k = \frac{N}{F} = \pi^2 \varepsilon \left[\frac{J}{(0{,}71\, l_0}\right]^2 ;$$

die freie Knicklänge beträgt somit 0,71 der Stablänge l_0.

3. Spezialfall. Anfangsexcentricität $n_0 = o$; beide Stabenden sind drehbar, doch gegen Lagenänderungen gesichert.

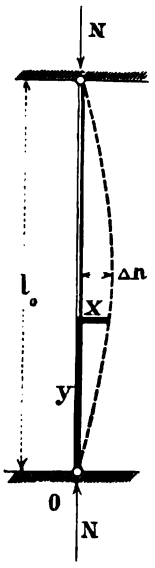


Abb. 8.

Wird der Coordinaten-Ursprung in das untere, bewegliche Stabende verlegt, so nimmt die Gleichung der elastischen Linie die folgende Form an:

$$x = \Delta n \,.\, \sin (Ky).$$

Für verschwindend kleine Verbiegungen darf $J_{max} = l_0$ gesetzt werden, mithin wird für

$$y = l_0 \;,\; x = o \quad \text{d. h.} \quad (Kl) = \text{Null}.$$

Diese Bedingung wird erfüllt für:

$$Kl_0 = o \;,\; = \pi \;,\; = 2\pi \;,\; \ldots = c\pi$$

d. h.

$$K = \frac{c \,.\, \pi}{l_0} ;$$

demnach wird die Gleichung der Schwerpunktslinie:

$$x = \Delta n \sin \left[\frac{c\,\pi}{l_0} . y\right].$$

Aus der Bedingung

$$K = \frac{c\,\pi}{l_0} = \sqrt{\frac{N}{\varepsilon J}}$$

erhält man die *Euler*'sche Knickformel in der allgemeinen Form:

$$N = c^2\, \pi^2 \frac{J}{l_0^{\,2}} \;,\; \text{oder:} \quad \sigma_s = \beta_k = c^2\, \pi^2 \cdot \varepsilon \left[\frac{i}{l_0}\right]^2 .$$

Für:

$c = 1$; $= 2$; $= 3$; $= 4$

wird:

$$x = \Delta n \sin \left[\frac{\pi}{l_0} y\right]; \quad = \Delta n \sin \left[\frac{2\pi}{l_0} y\right]; \quad = \Delta n \sin \left[\frac{3\pi}{l_0} y\right]; \quad = \Delta n \sin \left[\frac{4\pi}{l_0} y\right].$$

$$N = \pi^2 \frac{J}{l_0^2}; \quad = 4\pi^2 \varepsilon \frac{J}{l_0^2}; \quad = 9\pi^2 \varepsilon \frac{J}{l_0^2}; \quad = 16\pi^2 \varepsilon \frac{J}{l_0^2}.$$

oder: $\sigma_s =$

$$\sigma^k = \pi^2 \varepsilon \left(\frac{i}{l_0}\right)^2; \quad = \pi^2 \varepsilon \left(\frac{i}{l_0 : 2}\right)^2; \quad = \pi^2 \varepsilon \left(\frac{i}{l_0 : 3}\right)^2; \quad = \pi^2 \varepsilon \left(\frac{i}{l_0 : 4}\right)^2.$$

Wird also ein prismatischer, zwischen Spitzen d. h. vollkommen beweglich eingespannter Stab in seiner Mitte, in den Dritteln oder in den Vierteln ohne Verhindernng der freien Tangenänderung an diesen Stellen festgehalten, so wird die Formänderung in derselben Weise erfolgen, die Tragkraft an der Grenze denselben Wert erhalten, als ob jedes Teilstück des Stabes für sich eingespannt und belastet wäre.

Definiert man den Abstand der Inflexionspunkte der dedeformierten Stabaxe, als die *massgebende, freie Knickungslänge* l, so wird für:

$$c = 1; \quad = 2; \quad = 3; \quad = 4;$$

$$l = l_0 \quad l = \frac{1}{2} l_0; \quad l = \frac{1}{3} l_0 \quad l = \frac{1}{4} l_0$$

und die *Knickkraft nach Euler* allgemein durch:

$$N = \varepsilon \pi^2 \frac{J}{l^2},$$

die Schwerpunkts- d. h. die mittlere *Knickspannung* durch:

$$\sigma_s = \beta_k = \frac{N}{F} = \varepsilon \pi^2 . \left(\frac{i}{l}\right)^2$$

ausgedrückt.

4. Spezialfall; Anfangsexcentricität $n_0 = o$; beide Stabenden sind unwandelbar eingespannt.

Vorliegender Fall entspricht demjenigen der centrischen Belastung eines in den Dritteln festgehaltenen Stabes von einer Länge

$$l_0' = 1{,}5\ l_0 = \frac{3}{2} l_0,$$

wenn l_0 die Länge des betrachteten Stabes zwischen den Einspannstellen bedeutet.

Die Tragfähigkeit dieses Stabes an der Grenze wäre somit:

$$N = 9.\pi^2 \varepsilon \frac{J}{l_0'^2} = 9\,\pi^2\,\varepsilon \left(\frac{J}{\frac{3}{2} l_0}\right)^2 = \pi^2\,\varepsilon \left(\frac{J}{l_0 : 2}\right)^2.$$

Der Abstand der Inflexionsstellen, d. h. die *freie Knicklänge* des eingespannten Stabes wäre seiner halben Länge $\left(l = \frac{1}{2} l_0\right)$ gleich; somit wird in diesem Falle die spezifische Knickspannung:

$$\sigma_s = \beta_k = \frac{N}{F} = \pi^2\,\varepsilon \left[\frac{i}{0{,}5\, l_0}\right]^2.$$

IV. Zusammenstellung der Grundformeln.

Allgemeiner Fall; Anfangsexcentricität $n_0 \neq$ Null.

Es beträgt die Gesamtexcentricität:

$$n = n_0 + \Delta n = \frac{n_0}{1 - 0{,}5 \left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} + 0{,}0417 \left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon}\Big]^2 - \ldots}$$

worin:

l_0 im Sinne von Abb. 6, die Stablänge,

σ_s die Schwerpunktsspannung $= P : F =$ Arbeitslast durch Querschnittsfläche und

ε den Elasticitätsmodul bedeutet.

Die herrschenden Grösstwerte der *Kantenspannungen* sind aus:

$$\sigma_{\mathrm{I}} = -|\sigma_s + \sigma_b| = -\sigma_s\left[1 + \frac{c_{\mathrm{I}}}{a}\right] = -\sigma_s\left[1 + \frac{n}{k_{\mathrm{I}}}\right] = -\left[\sigma_s + \frac{P x_0}{J_{\mathrm{II}}} x_{\mathrm{I}} + \frac{P y_0}{J_{\mathrm{I}}} y_{\mathrm{I}}\right]$$

$$\sigma_{\mathrm{II}} = -[\sigma_s - \sigma_b] = -\sigma_s\left[1 - \frac{c_{\mathrm{II}}}{a}\right] = -\sigma_s\left[1 - \frac{n}{k_{\mathrm{II}}}\right] = -\left[\sigma_s - \frac{P x_0}{J_{\mathrm{II}}} x_{\mathrm{II}} - \frac{P y_0}{J_{\mathrm{I}}} y_{\mathrm{II}}\right]$$

erhältlich, wenn c_{I}, c_{II}, a, k_{I}, k_{II}, und J_{I}, J_{II} die auf Seite 14 angeführte Bedeutung haben.

Vorstehende Gleichungen gelten für *federnde* Formänderungen, also für Belastungen (P), für welche die Kantenspannungen sich innerhalb der Elasticitätsgrenze des Materials bewegen. Bei Inanspruchnahmen jenseits der Elasticitätsgrenze, sowie für Materialien, die dem Proportionalitätsgesetze nicht folgen, können diese Gleichungen blos den Wert von oft nur rohen Annäherungen besitzen. Dessen ungeachtet sollen diese Gleichungen auch für Materialien, die dem *Hooke*'schen Gesetze nicht folgen und bei Inanspruchnahme im Belastungsintervalle jenseits der Elasticitätsgrenze benützt und die Divergenz zwischen Rechnung und der thatsächlich herrschenden Spannungszuständen an der Grenze durch geeignete Erfahrungskoeffizienten ausgeglichen werden.

An der Kohäsionsgrenze, bei welcher Trennung der materiellen Teile oder ein Zustand plastischer Deformabilität eintritt, sollte die Spannungsgleichung Kantenspannungen gleich der Festigkeit (β) des Materials (Zug oder Druck), d. h.

$$-\sigma_s\left[1 \pm \frac{c}{a}\right] = -\sigma_s\left[1 \pm \frac{n}{k}\right] \quad \text{sollte} = \beta$$

werden. Rechnung und Beobachtung können sich an der Kohäsionsgrenze nicht decken; wir stellen die Übereinstimmung durch den zu ermittelnden Erfahrungskoeffizienten μ her, indem wir vorstehenden Ausdruck in der Form:

$$-\frac{\sigma_s}{\mu}\left[1 \pm \frac{c}{a}\right] = -\frac{\sigma_s}{\mu}\left[1 \pm \frac{n}{k}\right] = \beta$$

oder:

$$-\sigma_s\left[1 \pm \frac{c}{a}\right] = -\sigma_s\left[1 \pm \frac{n}{k}\right] = \mu \cdot \beta$$

schreiben.

Ist der Erfahrungskoeffizient μ bestimmt, so wird man die Dimensionierung des excentrisch belasteten Stabes für m-fache Sicherheit gegen Bruch durchführen und in einer besondern Rechnung an Hand der Gleichungen auf S. 26 die Durchbiegung, Gesamtexcentricität und das Mass der extremen Kantenspannungen für die herrschende Arbeitsbelastung in besonderer Rechnung feststellen können.

Spezialfall; Anfangsexcentricität n_0 = Null.

Bei Formänderungen mit elastischem Charakter biegen sich ursprünglich gradlienige Stäbe nach einer Wellenlinie (Sinusoïde) und wird das Tragvermögen derselben an der Grenze durch das *Euler*'sche Gesetz:

$$N = \pi^2 \varepsilon \cdot \frac{J}{l^2}$$

beziehungsweise durch:

$$\sigma_s = \beta_k = \frac{N}{F} = \pi_2 \varepsilon \left(\frac{i}{l}\right)^2$$

ausgedrückt, worin

i den *kleinsten Trägheitshalbmesser* der Querschnittsfläche des Stabes,

l seine freie *Knickungslänge* bedeutet.

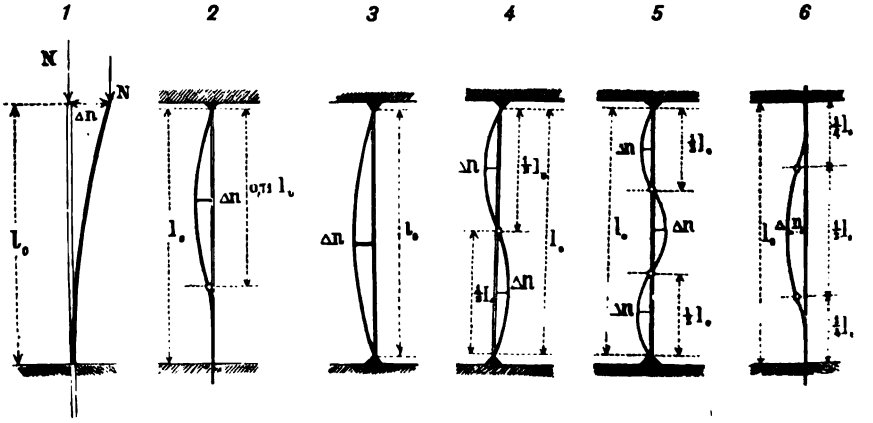
$\frac{l}{i}$ = nennt man das *massgebende Längenverhältnis.*

Für Materialien, die dem Proportionalitätsgesetze nicht folgen, sowie bei Inanspruchnahme elastischer Stäbe jenseits der Elasticitätsgrenze bleibt die Funktion

$$\sigma_s = \beta_k = f\left(\frac{l}{i}\right)$$

durch Versuche zu bestimmen übrig.

Die *freie Knickungslänge* l hängt als Abstand der Inflexionspunkte der elastischen Linie von der Befestigungsart des Stabes ab und muss Fall für Fall den obwaltenden Verhältnissen angemessen gewählt werden. Ist l_0 die Stablänge, l die s. g. *freie Knickungslänge,* so hat man im Falle



$l = 2{,}00\, l_0$ $l = 0{,}71\, l_0$ $l = l_0$ $l = 0{,}50\, l_0$ $l = 0{,}33\, l_0$ $l = 0{,}50\, l_0$;

auf andere spezielle Fälle soll später noch verwiesen werden.

Bei einer elastischen Verbiegung des Stabes um Δn würden die extremen Kantenspannungen

$$\sigma_{\mathrm{I}} = -\sigma_s\left[1+\frac{c_{\mathrm{I}}}{a}\right] = -\sigma_s\left[1+\frac{\Delta n}{k_{\mathrm{I}}}\right] = \text{ etc.}$$

$$\sigma_{\mathrm{II}} = -\sigma_s\left[1-\frac{c_{\mathrm{II}}}{a}\right] = -\sigma_s\left[1-\frac{\Delta n}{k_{\mathrm{II}}}\right] = \text{ etc. betragen,}$$

wobei die Schwerpunktsspannung σ_s aus:

$$\sigma_s = \frac{P}{F}$$

erhältlich ist, wenn P die der Durchbiegung Δn entsprechende Belastung des Stabes bedeutet. Wird zufolge eines angemessen grossen Sicherheitsgrades (m) gegen das Erreichen der Grenzbelastung (N), die Excentricität Δn verschwindend klein, so liefern vorstehende Spannungsgleichungen:

$$\sigma_{\mathrm{I}} = \sigma_{\mathrm{II}} = \sigma_s = \sigma_k = \frac{\beta_k}{m} = \frac{P}{F} = \frac{N}{mF} = \textit{const.}$$

Über die Zulässigkeit dieser Annahme kann nur eine Untersuchung der Spannungsverteilung centrisch belasteter Druckstäbe Aufschluss erteilen. Soferne jedoch erwiesen werden sollte, dass innerhalb bestimmter Grenzen der Belastung constante Materialspannung thatsächlich bestehen, wird die Frage zu beantworten sein: innerhalb welchen Grenzen sich der anzuwendende Sicherheitsgrad bewegen muss, um die Constanz der Materialspannung herbeizuführen.

V. Resultate der experimentellen Untersuchungen.

Die zur Abklärung des Verhaltens der technisch wichtigsten Baustoffe in der erweiterten Druckprobe im schweizerischen Festigkeits-Institute unternommenen Untersuchungen beziehen sich:

1. Auf die Kontrolle der Richtigkeit und der Gültigkeitsgrenzen der Excentricitäts- und der Navier'schen Spannungsformeln:

$$n = n_0 + \Delta n = \frac{n_0}{1 - 0{,}50 \left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} + 0{,}0417 \left[\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon}\right]^2};$$

$$\sigma = -\left[\sigma_s \pm \sigma_b\right] = -\sigma_s \left[1 \pm \frac{c}{a}\right] = -\left[\sigma_s \pm \frac{P x_0}{J_{II}} x \pm \frac{P y_0}{J_I} y\right] = \ldots .$$

2. Auf die Untersuchung der Spannungsverteilung anfänglich centrisch belasteter Druckstäbe.

3. Auf die Untersuchung des Abhängigkeits-Verhältnisses der Schwerpunktsspannung (σ_s) *zum massgebenden Längen-Verhältnisse* ($l : i$) *prismatischer Druckstäbe.* Diese Untersuchung schliesst in sich die Kontrolle der Richtigkeit und der Gültigkeitsgrenzen der *Euler*'schen Knickungsformeln.

4. Auf die Untersuchung des Einflusses der Verbindungsart getrennter Teilstücke auf die Knickungsfestigkeit zusammengesetzter, schmiedeiserner Druckstäbe. Endlich beziehen sich unsere experimentellen Arbeiten:

5. Auf die Untersuchung des Verhaltens des schmiedbaren Eisens in der excentrischen Druckprobe.

Wir beginnen mit:

1. Den Ergebnissen der Kontrolle der Richtigkeit und der Gültigkeitsgrenzen der Excentricitäts- und der Navier'schen Spannungsformel.

Die experimentelle Untersuchung der Frage der Richtigkeit und der Gültigkeitsgrenzen der Excentricitätsgleichung und der Navier'schen Spannungsformel hat auf Anregung des Berichterstatters, Herr Ingr. Valentin *Meyer* von der technischen Hochschule in Warschau in der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt durchgeführt. Hrn. Ingr. *Meyer* wurden eine Anzahl, nach Abb. 9 konstruierte, sorgfältig gerade gerichtete Stäbe von ca. 6 *m* Länge, sowie das Messgeschirr und Hülfspersonal zur Verfügung gestellt. Die Stäbe besassen einen Kreuzquerschnitt aus 2 Winkeleisen, welche in Abständen von beziehungsweise 75—100 *cm* vermittelst zweinietiger Kreuzplatten, vrgl. Abb. 9, verbunden waren. Die Stabenden wurden sorgfältig $\perp$ zur Stabaxe abgeschnitten und auf die, auf Spitzen gelagerten Druckplatten der *Werder*-Maschine, aufgeschliffen.

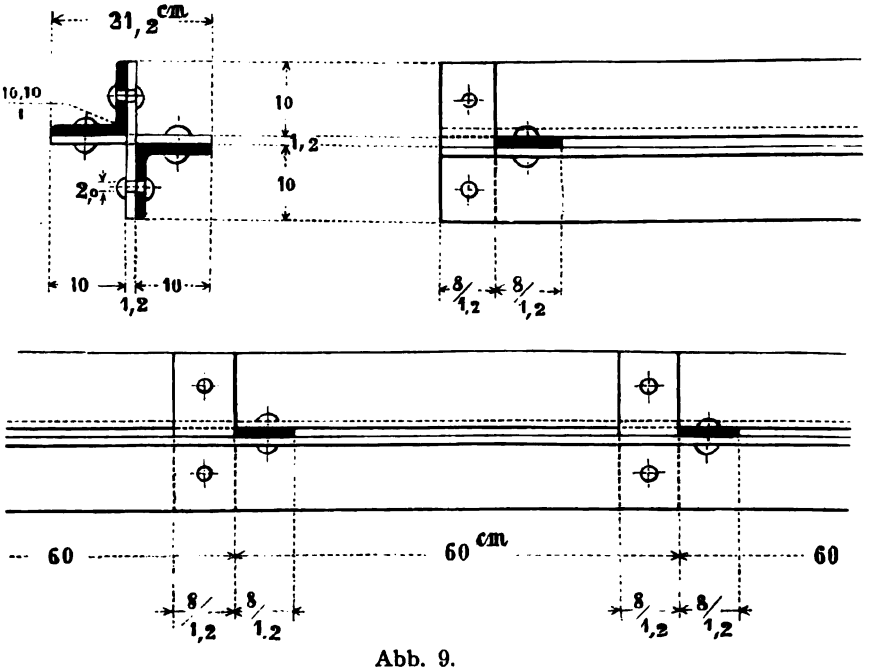


Abb. 9.

Bezüglich der Art der Einspannung und Ausbalancierung der Versuchskörper sei — Wiederholungen zu vermeiden — auf die Mitteilungen unter Nr. 2 »*Untersuchung der Spannungsverteilung anfänglich centrisch belasteter Druckstäbe*«, sowie auf die beigeheftete Tafel Nr. I verwiesen.

Herr Ingr. *Meyer* erhielt eine Anzahl Dehnungsmesser, System Rabut-Mantel, mit einem Übersetzungsverhältnis 1:1000 zugewiesen, welche zunächst an Hand eines Flachstabes mit dem *Bauschinger'*schen Spiegelapparate verglichen und von welchen diejenigen mit regelmässigem Gang und kleinster Abweichung gegenüber den Messresultaten mit dem Spiegelapparate ausgesucht und verwendet wurden, nachdem vorangehend für diese Dehnungsmesser und für die Laststufen von 0—12 *t*, ferner von 12—24 *t* die Reduktionskoeffizienten auf die Spiegelapparate besonders ermittelt waren.

Die vom Berichterstatter gewählte, direkte Messmethode der Lagenänderungen der Schwerpunkte der Versuchskörper in lotrechter und wagrechter Richtung hat Hr. Ingr. *Meyer* ersetzt durch die *Bauschinger'*sche mittelst Gradbögen. In der

Schwerpunktsrichtung der mittlern Querschnitte der Versuchsstäbe wurden 2 Häckchen angebracht, in welche 2 Fäden eingehängt werden konnten, von welchen der eine in lotrechter, der andere in wagrechter Richtung über die Messrollen der Gradbogenapparate lief. Auf diese Weise konnten die Lagenänderungen der Schwerpunkte der Versuchsstäbe für jede Laststufe erhoben werden.

Die Dehnungsmesser wurden in Nähe des mittleren Stabquerschnitts derart aufmontiert, dass es möglich war, aus dem Mittel der Ablesungen zwei gegenüberliegender Dehnungsmesser die Verkürzung und aus diesen die Inanspruchnahme der ideellen Schwerpunktsfaser abzuleiten. Nach wie vor bezogen sich die Ablesungen der Dehnungsmesser auf Fasern, die 2,5 *cm* von den Kanten des Profils abstunden, an welchen die Messapparate befestigt waren. Die Kantenspannungen des Profils selbst mussten Fall für Fall aus den Spannungen dieser ideellen Fasern abgeleitet werden. Es geschah dies in ähnlicher Weise, wie bei unseren Versuchen, vrgl. Nr. 2 des vor liegenden Abschnitts.

Die Ablesungen der Dehnungsmesser hatte Hr. Ingr. *Meyer* auf den *Bauschinger'*schen Spiegelapparat reduziert. Die Art, wie dies geschah, entspricht unserm, nicht ganz einwandfreien, Verfahren. Die Sache ist indessen belanglos, weil die Korrekturen an sich sehr klein waren, die Übersetzungsverhältnisse der ausgesuchten *Rabut*-Mantel-Apparate (1 : 1000) mit dem *Bauschinger'*schen Spiegelapparate sich befriedigend deckten.

Die Ablesungen auf den Gradbogenapparaten mussten nach *Bauschinger's* Verfahren korrigiert werden. Bezeichnet

h u. v die massgebenden Fadenlängen in wagrechter und lotrechter Richtung für die Nulllast,

x u. y die Ablesungen an den korrespondierenden Apparaten, so wird die Bewegung des Stabschwerpunktes

in wagrechter Richtung: $x+\Delta x$; in lotrechter Richtung $y+\Delta y$ sein, worin für die gewählte Anordnnng nach *Meyer's* Ermittlungen:

$$\Delta x = -\frac{1}{2}\frac{y^2}{h+x} \quad \text{und} \quad \Delta y = -\frac{1}{2}\frac{x^2}{v+y}$$

zu setzen ist.

Meyer's Mess- und Rechnungsresultate sind teilweise und zwar aus Gründen der Wahl übermässig grossen Anfangsexcentricitäten zur Vergleichung unbrauchbar. Die Versuche mit kleinen Anfangsexcentricitäten, bei welchen ein Abheben der Versuchstäbe von den auf Spitzen gelagerten Druckplatten nicht eintreten konnten, gestatten die gewonnenen Resultate ein Urteil über die Verwendbarkeit und die Gültigkeitsgrenzen der *Excentricitäts*-Gleichung und der *Navier*'schen Spannungsformel; sie stehen in Übereinstimmung mit des Verfassers Versuchen, welche in Nr. 2 dieses Abschnitts behandelt sind.

Folgende tabellarische Zusammenstellungen geben eine Auswahl der *Meyer*'schen Versuchsergebnisse.

Versuch No. 7.

Versuchstab No. 7; Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen, deutsches Normalprofil No. 12a.

$J_{max} = 1810{,}20\ cm^4$; $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $h = 53{,}5\ cm$;
$J_{min} = 1034{,}72$ » ; $i_{min} = 4{,}57$ » ; $v = 60{,}3$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50\ cm^2$; wirksame Stablänge: 634,7 *cm*; Knotenabstand = 100 *cm*.

Wertziffern des Materials:

$\varepsilon = 2127\ t/cm^2$; $\gamma = 2{,}30\ t/cm^2$; $\beta = 4{,}28\ t/cm^2$; $c = 1{,}13\ t/cm$.

Belastung P in *t*	Beobachtete					Berechnete					Prozentuales Verhältnis
	Anfangs-Excentricität *cm*	Schwerpunkts-Coordinaten des Stabes in *cm*		Max. Kantenspannung t/cm^2		Anfangs-Excentricität *cm*	Schwerpunkts-Coordinaten des Stabes in *cm*		Max. Kantenspannung t/cm^2		
		x	y	σ_3	σ_4		x'	y'	σ_3'	σ_4'	$\frac{x}{x'}100$
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	0,97	-0,970	0,2	0,03	0,03	—	—	—	0,03	0,03	—
5	—	-1,067	0,188	0,13	0,14	1,166	1,093	—	0,14	0,15	97,6
9	—	-1,181	0,184	0,26	0,28	0,934	1,226	—	0,26	0,28	96,3
13	—	-1,321	0,173	0,30	0,39	0,948	1,352	—	0,39	0,41	97,7
17	—	-1,492	0,168	0,53	0,53	0,931	1,524	—	0,53	0,56	97,9
21	—	-1,704	0,162	0,69	0,67	0,951	1,738	—	0,69	0,73	98,0
23	—	-1,828	0,158	0,79	0,78	0,950	1,865	—	0,78	0,82	98,0
25	—	-1,969	0,153	0,89	0,87	0,960	2,010	—	0,88	0,92	98,0
27	—	-2,129	0,151	1,00	0,98	0,950	2,175	—	0,98	1,03	98,0
29	—	-2,312	0,148	1,11	1,10	0,948	2,366	—	1,10	1,14	97,7
30	—	-2,413	0,144	1,18	1,15	0,947	2,473	—	1,16	1,21	97,6
31	—	-2,522	0,142	1,24	1,21	0,945	2,589	—	1,23	1,27	97,4
32	—	-2,640	0,139	1,31	1 29	0,943	2,715	—	1,30	1,34	97,2
33	—	-2,770	0,137	1,38	1,38	0,942	2,852	—	1,37	1,42	97,1
34	—	-2,910	0,134	1,45	1,44	0,966	2,921	—	1,45	1,50	99,6
35	—	-3,066	0,131	1,55	1,53	0,939	3,168	—	1,54	1,59	96,8
36	—	-3,242	0,131	1,65	1,63	0,939	3,351	—	1,63	1,68	96,8
37	—	-3,437	0,125	1,76	1,72	0,938	3,553	—	1,74	1,79	96,8
38	—	-3,765	0,131	1,89	1,84	0,966	3,779	—	1,88	1,94	99,7
39	—	-3,942	0,126	2,04	1,96	0,948	4,033	—	1,99	2,04	97,7
40	—	-4,281	0,131	2,19	2,12	0,963	4,311	—	2,05	2,20	99,3
41	—	-4,832	0,157	2,46	2,28	1,088	4,648	—	2,37	2,44	104,0
42	—	-5,365	0,192	2,76	2,49	1,036	5,023	—	2,60	2,69	106,8
42,5	—	-5,863	0,229	2,97	2,62	1,087	5,232	—	2,80	2,90	112,1
43	—	-6,413	0,292	3,04	2,82	1,139	5,462	—	3,00	3,13	117,4
43,5	—	*Nicht mehr getragen.*									

Versuch No. 9.

Versuchstab No. 1; Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen; deutches Normalprofil No. 8a.

$J_{max} = 478{,}4\ cm^4$; $i_{max} = 4{,}41\ cm$; $h = 55{,}0\ cm$;
$J_{min} = 234{,}0$ » ; $i_{min} = 3{,}09\ cm$; $v = 61{,}0$ » .

Querschnittsfläche: $F = 24{,}56\ cm^2$; wirksame Stablänge: 624,1 *cm*; Knotenabstand: 75 *cm*.

Wertziffern des Materials.

$\varepsilon = 2168\ t/cm^2$; $\gamma = 2{,}35\ t/cm^2$; $\beta = 3{,}93\ t/cm^2$; $c = 1{,}10\ t/cm$.

Belastung P in t	Beobachtete					Berechnete					Procentuales Verhältnis
	Anfangs-Excentricität	Schwerpunkts-Coordinaten des Stabes in *cm*		Max. Kantenspannung t/cm^2		Anfangs-Excentricität	Schwerpunkts-Coordinaten des Stabes in *cm*		Max. Kantenspannung in t/cm^2		
	cm	x	y	σ_3	σ_4	*cm*	x'	y'	σ_3'	σ_4'	$\frac{x}{x'}100$
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,5	- 1,8	-1,8	0,75	0,04	0,04	—	—	—	0,04	0,04	—
1,5	»	-1,99	0,062	0,13	0,12	1,711	-2,094	—	0,13	0,13	95,33
2,5	»	-2,219	0,044	0,25	0,25	1,709	-2,337	—	0,23	0,23	94,95
3,5	»	-2,507	0,027	0,37	0,36	1,714	-2,632	—	0,35	0,35	95,25
4,5	»	-2,868	0,013	0,53	0,51	1,722	-2,998	—	0,49	0,49	95,66
5,5	»	-3,335	-0,007	0,72	0,69	1,767	-3,397	—	0,66	0,65	99,94
6,5	»	-3,955	-0,029	0,95	0,94	1,749	-4,069	—	0,87	0,86	97,20
7,5	»	-4,827	-0,056	1,27	1,25	1,776	-4,891	—	1,16	1,15	98,69
8,5	»	-6,223	-0,064	1,76	1,64	1,847	-6,065	—	1,60	1,58	102,61
9,0	»	-7,448	-0,056	2,11	2,16	1,954	-6,860	—	1,95	1,94	108,57
9,25	»	-8,685	-0,037	2,34	2,56	2,131	-7,335	—	2,27	2,26	118,41
9,5	—	*Nicht mehr getragen.*									

Versuch No. 8.

Versuchstab No. 3; Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen, deutsches Normalprofil No. 8a.

$J_{max} = 478{,}4\ cm^4$; $i_{max} = 4{,}41\ cm$; $h = 54{,}5\ cm$;
$J_{min} = 234{,}0$ » ; $i_{min} = 3{,}09$ » ; $v = 61{,}4$ » .

Querschnittsfläche: $F = 24{,}56\ cm^2$; wirksame Stablänge: 624,1 *cm*; Knotenabstand = 100 *cm*.

Wertziffern des Materials:

$\varepsilon = 2168\ t/cm^2$; $\gamma = 2{,}35\ t/cm^2$; $\beta = 3{,}93\ t/cm^2$; $c = 1{,}10\ t/cm$.

Belastung P in t	Beobachtete					Berechnete					Procentuales Verhältnis
	Anfangs-Excentricität	Schwerpunkts-Coordinaten des Stabes in *cm*		Max. Kantenspannung t/cm^2		Anfangs-Excentricität	Schwerpunkts-Coordinaten des Stabes in *cm*		Max. Kantenspannung t/cm^2		
	cm	x	y	σ_3	σ_4	*cm*	x'	y'	σ_3'	σ_4'	$\frac{x}{x'}100$
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,5	0,95	0,95	-0,000	0,03	0,03	—	—	—	0,03	0,03	—
1,5	»	-1,065	-0,014	0,11	0,09	0,916	1,105	—	0,10	0,10	96,4
2,5	»	-1,201	-0,033	0,20	0,16	0,925	1,234	—	0,17	0,17	97,3
3,5	»	-1,371	-0,057	0,29	0,24	0,937	1,389	—	0,26	0,26	98,7
4,5	»	-1,585	-0,078	0,40	0,35	0,951	1,583	—	0,35	0,35	100,1
5,5	»	-1,858	-0,103	0,54	0,46	0,965	1,828	—	0,47	0,46	101,6
6,5	»	-2,213	-0,135	0,70	0,61	0,978	2,149	—	0,60	0,60	103,0
7,5	»	-2,695	-0,173	0,90	0,78	0,991	2,591	—	0,78	0,78	104,0
8,5	»	-3,439	-0,228	1,20	1,06	1,019	3,205	—	1,04	1,03	107,3
9,0	»	-4,003	-0,276	1,37	1,22	1,049	3,619	—	1,22	1,21	110,6
9,5	»	-4,849	-0,361	1,63	1,48	1,107	4,163	—	1,47	1,47	116,5
10,0	»	-7,060	-0,734	1,99	1,99	1,377	4,869	—	2,08	2,06	145,0
10,25	»	*Nicht mehr getragen.*									

2. Resultate der Untersuchung der Spannungsverteilung in centrisch belasteten Druckstäben.

An einer Reihe ca. 6,0 *m* langer, andern Zwecken dienenden Druckstäben, vrgl. No. 4 des vorliegenden Abschnitts, wurden unter Anwendung der bekannten *Rabut-Mantel*'schen Dehnungsmesser, vrgl. die »Schweiz. Bauzeitung« Bd. XXXV, No. 5, 6 u. 7, Spannungsmessungen ausgeführt. Die Versuchstäbe erhielten Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen, die entweder unter Anwendung der auf Seite 31 in Abb. 9 dargestellten zweinietigen Kreuzplatten, oder durch alterierend angeordnete, viernietige Blechstreifen, vrgl. Abb. 10 verbunden waren. Die

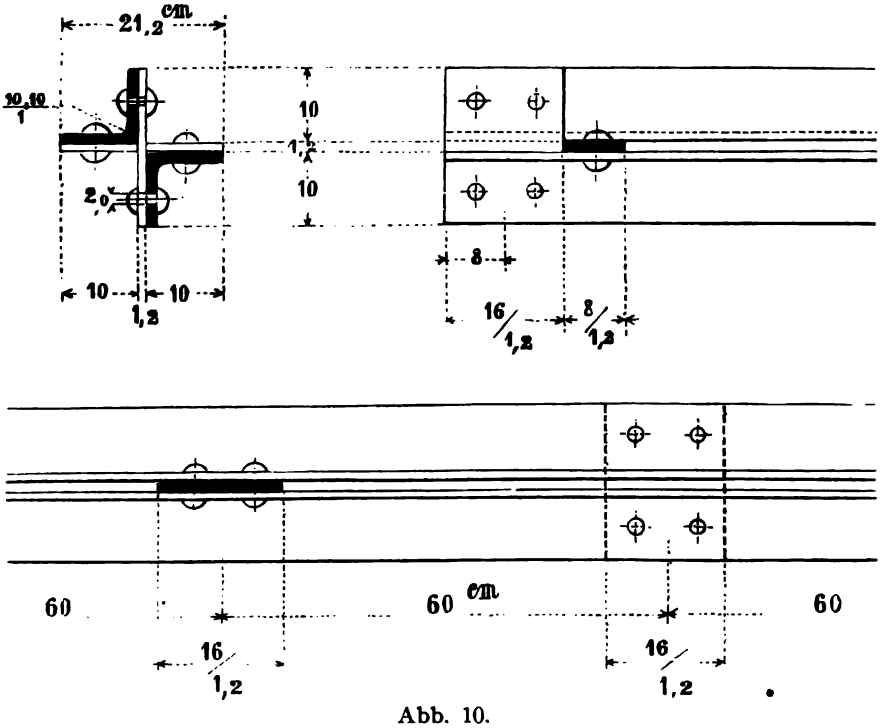


Abb. 10.

Abständen der Verbindungsstellen (Knoten) waren absichtlich verschieden gewählt; sie sind in nachstehen den Zusammenstellungen Fall für Fall angegeben. Das Material der Versuche war durchwegs Flusseisen.

Die Endflächen der Probekörper wurden ⊥ zur Stabaxe abgeschnitten und auf die, auf Spitzen gelagerten Druckplatten

der Werder-Maschine aufgeschliffen. Die Einlagerung der Versuchstäbe in die Maschine geschah centrisch, horizontal; das Moment des Eigengewichts haben wir durch Aufbringen von $^3/_8$ des Stabgewichts in den Dritteln der Stablänge aufzuheben gesucht. Die gewählte Aufhängevorrichtung der Stäbe entsprach dem bisherigen Gebrauch. Taf. I giebt ein perspektivisches Bild der Lage eines Versuchsstabes in der Maschine mit den Aufhängebügeln und den Rabut-Mantel-Apparaten. Letztere wurden in der Regel in der Stabmitte aufmontiert. In jenen Fällen, wo dies durch die, die Profile verbindenden Blechstreifen oder Kreuzplatten nicht möglich war, sind die Apparate paarweise diagonal gegenüberliegend auf die Winkelflanschen der Versuchstäbe aufgebracht worden. Dadurch ist es möglich geworden, wie bereits unter No. 1 angeführt wurde, aus den Ablesungen zweier gegenüberliegender Apparate die Längenänderung und aus diesen die Spannungen der ideellen Schwerpunktsfaser abzuleiten.

Die Messung der Durchbiegung geschah in der Stabmitte vermittelst eines mit Wasserwaage horizontal bezw. vertikal gestellten Anlegemassstabes mit $^1/_{10}$ Nonius direkt. Zu diesem Ende

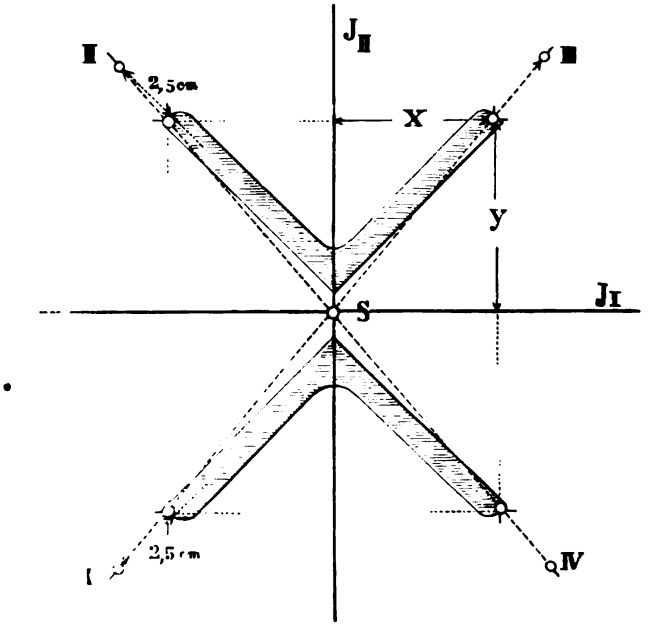


Abb. 11.

wurde auf die Bahn der Werder-Maschine ein eiserner Rahmen angeschraubt, gegen dessen, ebenfalls mittelst Wasserwaage wagrecht bezw. lotrecht gestellten Arme der Anlegemassstab angeschlagen werden konnte. Wir haben bei den ziemlich grossen Durchbiegungen der Druckstäbe die Messung der Biegungspfeile mit einer Genauigkeit von $^1/_{10}$ *mm* als ausreichend angesehen.

Vermöge Bauart und Anlagerungsweise der benützten Dehnungsmesser wurden mittelst dieser die Längenänderungen einer ursprünglich 20,0 *cm* langen, 2,5 *cm* von den Kanten, an welchen die Instrumente befestigt waren, abstehenden, ideellen Fasern gemessen. Die gewonnenen Messresultate mussten daher auf die Profilspitzen reduziert werden. Zu diesem Ende haben wir auf den Mittellinien der Winkelflanschen, 2,5 *cm* von den Profilspitzen entfernt, die Punkte I, II, III und IV als die geometrischen Orte der Messinstrumente markiert und dieselben kreuzweise verbunden. Die Schnittpunkte dieser Verbindungslinien mit den Profilspitzen wurden als die extremen Fasern der Stabquerschnitte angesehen, ihre Coordinaten (x, y) bestimmt und bei der Berechnung der grössten bezw. der kleinsten Kantenspannungen in Rechnung gestellt.

Die erste der vorbereitenden Arbeiten betraf die Verifikation der Dehnungsmesser. Zu diesem Ende wurde zunächst an Hand eines Normalstabes die *Werder*-Maschine kontroliert, hierauf ein 8,99×1,70 *cm* starker Flusseisenstab in die Maschine eingelegt und dessen Dehnungsmass für die Lasteinheit von 1,0 *t* mittelst des *Bauschinger*'schen Spiegelapparates bestimmt. Nun wurden die Dehnungsmesser Rabut-Mantel auf den Flachstab montiert und ihr Verhalten bei einer allmälig bis auf 10,0 *t* gesteigerten Belastung untersucht. Hiebei hat sich ergeben, dass

1. im Belastungsintervalle von 0 bis 3,0 *t* sämtliche Instrumente einen wechselnd grossen, toten Gang nach vorwärts besitzen;

2. von 3,0 *t* aufwärts die Ausschläge den Belastungen proportional verlaufen;

3. das Übersetzungsverhältnis der Dehnungsmesser 1 : 1000 beträgt;

4. gegenüber dem *Bauschinger*'schen Spiegelapparat und im Belastungsintervalle von 3,0 bis 10,0 *t*

der Dehnungsmesser I: übereinstimmende,
» » II: um 3,1 % zu grosse,
« » III: übereinstimmende,
» » IV: um 3,2 % zu kleine Resultate

liefert.

Die vorstehend angeführte Apparaten-Kontrolle veranlasste nun:

a) eine Korrektur der an den Apparaten II und IV gewonnenen Ablesungen um — 3,1 % bezw. + 3,2 %;

b) eine Korrektur der Ablesungen im Belastungsintervalle 0 bis 3,0 *t* im Betrage *der rechnungsmässigen Verkürzungen.*

Die Null- oder Anfangsbelastung der Druckstäbe betrug 0,5 bezw. 1,0 *t*; der Nullpunkt der graphischen Darstellungen der korrigierten Ablesungen musste daher durch Interpotation ermittelt werden. Einzelne dieser graphischen Darstellungen wiesen in ihrem Verlaufe Unregelmässigkeiten auf, die ausgeglichen werden mussten. Zu diesem Ende haben wir die ersten und zweiten Differenzen der Ablesungen berechnet, graphisch dargestellt und vermittelst Abgleichungslinien die Zahlen zur Korrektur der Ablesungen abgeleitet. Diese Korrekturen waren nur in einzelnen Fällen erforderlich; die meisten Versuche fielen befriedigend aus und machten Korrekturen unnötig.

Zu den vorbereitenden Arbeiten gehört die Ermittlung der Elasticitäts- und Festigkeitsverhältnisse des Versuchsmaterials. Von jeder Materialsorte wurden Zerreiss-, technologische Kaltbruch- und Härtebiegeproben herausgearbeitet und den üblichen Versuchen unterworfen. Die Ermittlung der Elasticität und Druckfestigkeit war durch die Form und Wandstärke des Versuchsmaterials ausgeschlossen.

Folgende Zusammenstellungen enthalten die gewonnenen Wertziffern des Versuchsmaterials:

2. Serie.*)

Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil No. 10a.

Strebenlieferant: **Bell & Comp.**, Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Herkunft des Materials: **Burbacher Hütte** bei Saarbrücken.

(Sämtliche Wertziffern sind Mittelwerte aus 2 Versuchen).

a. *Zerreissprobe.*

Elasticitätsmodul	ε =	2110 t/cm^2;
Grenzmodul	γ =	2,51 »
Streckgrenze	σ =	2,82 »
Zugfestigkeit	β =	4,01 »
Contraction	φ =	64,5 %;
Bruchdehnung	λ =	19,7 »
Dehnung n. Bruch pro 20 *cm*: .	λ_2 =	27,6 »
Arbeits-Koeffizient	c =	1,11 *cm* u. *t.*

	b. techn. *Kaltbruchprobe.*	c. techn. *Härtebiegeprobe.*
Biegewinkel	$\alpha = 180^0$	$\alpha = 180^0$
Krümmungsmass . .	$x = 100$	$x = 100$
Oberflächenbeschaffenheit:	vollk. intakt.	vollk. intakt.

3. Serie.*)

Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil No. 12a.

Strebenlieferant: **Buss & Comp.**, Brückenbau-Anstalt, Basel.

Herkunft des Materials: **Gebr. Röchling**, Völklingen.

(Sämtliche Wertziffern sind Mittelwerte aus 2 Versuchen).

a. *Zerreissprobe.*

Elasticitätsmodul	ε =	2127 t/cm^2;
Grenzmodul	γ =	2,30 »
Streckgrenze	σ =	3,05 »
Zugfestigkeit	β =	4,28 »
Contraction	φ =	59,0 %;
Bruchdehnung	λ =	19,0 »
Dehnung n. Bruch pro 20 *cm* .	λ_2 =	26,4 »
Arbeits-Koeffizient	c =	1,13 *cm* u. *t.*

	b. techn. *Kaltbruchprobe.*	c. techn. *Härtebiegeprobe.*
Biegewinkel	$\alpha = 180^0$	$\alpha = 180^0$
Krümmungsmass . .	$x = 100$	$x = 100$
Oberflächenbeschaffenheit:	vollk. intakt.	vollk. intakt.

*) Vorliegende Bezeichnungen stehen in Übereinstimmungen mit den unter No. 4 dieses Abschnittes gewählten.

Die nummerische Berechnung der *Kantenspannungen* erfolgte in zweifacher Art, nämlich das eine mal unter zu Grundelegung der gemessenen Coordinaten x_0 und y_0 des Angriffspunktes der Kraft P, vrgl. Abb. 12, nach der Momenten-Methode unter Benützung der Spannungsgleichungen:

$$\sigma_I = -\left[\sigma_s + \frac{P x_0}{J_{II}} x + \frac{P y_0}{J_I} y\right], \quad \sigma_{II} = -\left[\sigma_s - \frac{P x_0}{J_{II}} x - \frac{P y_0}{J_I} y\right],$$

sodann unter zu Grundelegung der beobachteten Längenänderungen Δl_a und Δl_b der ideellen Fasern bei A und B. Die diesen Längenänderungen zugehörigen Spannungen betragen:

$$\sigma_a = \frac{\Delta l_a}{l} \cdot \varepsilon \quad , \quad \sigma_b = \frac{\Delta l_b}{l} \cdot \varepsilon$$

Nach Abb. 12 ist der Unterschied der Spannungen der Profilspitzen bei C und D gegenüber der Schwerpunktsspannung σ_s ausgedrückt durch

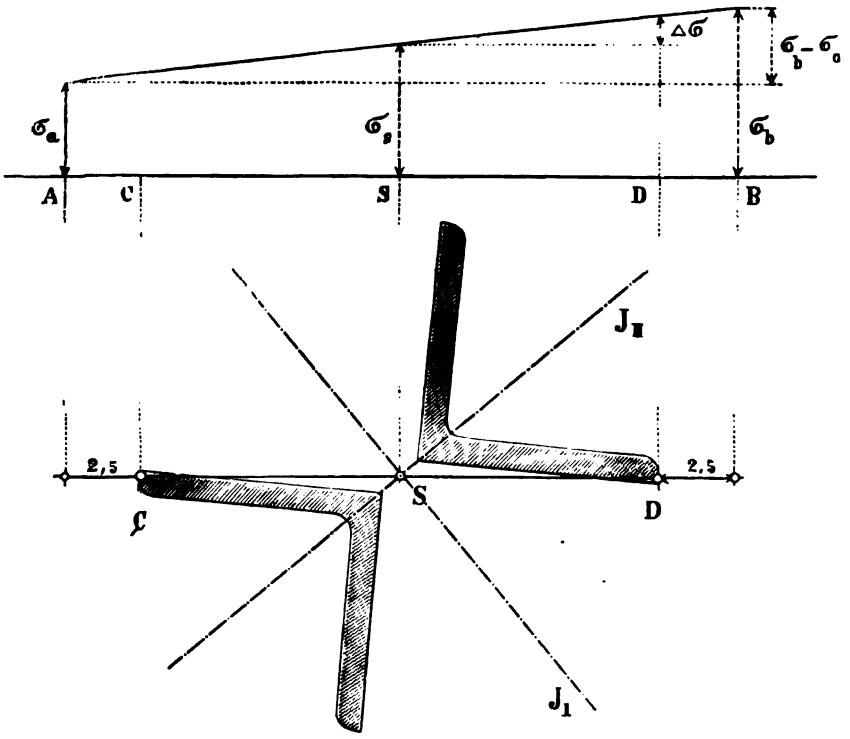


Abb. 12.

$$\Delta\sigma = \frac{\overline{SD}}{\overline{AB}}(\sigma_b - \sigma_a) \text{ d. h. durch}$$

$$\Delta\sigma = \frac{\overline{DS}}{\overline{AB}}\,\frac{(\Delta l_b - \Delta l_a)}{l}\,\varepsilon \;=\; \frac{\overline{SD}}{\overline{AB}}\,\frac{\Delta(\Delta l)}{l}\,\varepsilon\,.$$

Mithin erhält man die Spannungen dieser Profilspitzen aus:

$$\sigma_{max} = -\left[\sigma_s + \Delta\sigma\right] = -\left[\sigma_s + a\;\Delta(\Delta l)\right]$$

$$\sigma_{min} = -\left[\sigma_s - \Delta\sigma\right] = -\left[\sigma_s - a\;\Delta(\Delta l)\right], \quad \text{worin}$$

$$a = \frac{\overline{SD}}{\overline{AB}}\,\frac{\varepsilon}{l} \quad \text{ist.}$$

Dass schliesslich $\sigma_I = \sigma_{max}$ und $\sigma_{II} = \sigma_{min}$ werden soll, bedarf keiner Erwähnung.

Für das *Kreuzprofil* aus 2 Winkeleisen, deutsches Normalprofil No. 10ª beträgt

$$J_I = 1045{,}48\ cm^4; \qquad J_{II} = 579{,}18\ cm^4;$$
$$x = 6{,}90\ cm \qquad y = 8{,}20\ cm\,,$$

mithin wird:

$$\sigma_I = -\left[\sigma_s + \frac{6{,}90}{579{,}18}\cdot P x_0 + \frac{8{,}20}{1045{,}48}\,P y_0\right],$$

$$\sigma_{II} = -\left[\sigma_s - \frac{6{,}90}{579{,}18}\cdot P x_0 - \frac{8{,}20}{1045{,}48}\,P y_0\right].$$

Da nun $\overline{SD} = 10{,}71\ cm$; $\overline{AB} = 26{,}42\ cm$; $l = 20{,}0\ cm$; $\varepsilon = 2110\ t/cm^2$ beträgt, wird

$$a = 0{,}0427\,, \quad \text{somit:}$$

$$\sigma_{max} = -\left[\sigma_s + 0{,}0427\;\Delta(\Delta l)\right], \quad \sigma_{min} = -\left[\sigma_s - 0{,}0427\;\Delta(\Delta l)\right].$$

Für das Kreuzprofil aus 2 Winkeleisen, deutsches Normalprofil No. 12ª erhält man:

$$J_I = 1820{,}20\ cm^4; \qquad J_{II} = 1034{,}70\ cm^4;$$
$$x = 8{,}20\ cm \qquad y = 9{,}55\ cm\,, \text{ mithin:}$$

$$\sigma_1 = -\left[\sigma_s + \frac{8{,}20}{1034{,}70} P x_0 + \frac{9{,}55}{1820{,}20} P y_0\right],$$

$$\sigma_2 = -\left[\sigma_s - \frac{8{,}20}{1034{,}70} P x_0 - \frac{9{,}55}{1820{,}20} P y_0\right].$$

Für das vorliegende Profil beträgt

$\overline{SD} = 12{,}58\ cm$; $\overline{AB} = 30{,}17\ cm$; $l = 20{,}0\ cm$; $\varepsilon = 2127\ t/cm^2$; somit wird

$$\alpha = 0{,}0444\ , \quad \text{also}$$

$$\sigma_{max} = -\left[\sigma_s + 0{,}0444\ \Delta(\Delta l)\right], \qquad \sigma_{min} = -\left[\sigma_s - 0{,}0444\ \Delta(\Delta l)\right].$$

In vorstehenden Formelgruppen bedeutet nach wie vor: $\sigma_s = P : F$ die der Kraft P entsprechende Schwerpunktsspannung, $\Delta(\Delta l)$ die Differenz der Ablesungen (Δl) auf den gegenüberliegenden, massgebenden Dehnungsmessern.

Nachdem die Kantenspannungen (σ) der gebogenen Druckstäbe ermittelt waren, konnten nunmehr auch die Knickungskoeffizienten η der *Schwarz-Rankine*'schen Formeln aus:

$$\eta = \left(\frac{\sigma}{\sigma_s} - 1\right)\left(\frac{i}{l}\right)^2$$

berechnet werden, worin

σ die der jeweiligen Belastung P des Stabes entsprechende, grösste Kantenspannung,

σ_s die Schwerpunktsspannung,

i den Trägheitshalbmesser in der Biegerichtung bedeutet.

Endlich konnte auf Grund der gemessenen Gesamtexcentricität

$$n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$$

der angreifenden Kraft P aus

$$n = (n_0 + \Delta n) = \frac{n_0}{\cos\left(l_0\sqrt{\frac{P}{\varepsilon J}}\right)} = \frac{n_0}{1 - 0{,}5\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} + 0{,}0417\left[\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon}\right]^2}$$

die theoretische Anfangsexcentricität n_0 berechnet werden, welche hätte anfänglich vorhanden sein müssen, soferne das Material homogen und der Stab ursprünglich geradlinig gewesen wäre.

In nachstehenden tabellarischen Zusammenstellungen lassen wir nun das auf No. 2 des vorliegenden Abschnittes bezügliche Beobachtungs-Material und die Rechnungsergebnisse folgen:

2. Serie; *Lieferant:* **Th. Bell & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 16. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten*; Knoten-Abstand = 50 cm.

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $J_{min} = 579{,}18$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $i_{min} = 3{,}88$ » ;

Stablängen. $l_0 = 616\ cm$; $l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$.

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm am Apparat I	II	III	IV	Verkürzung der Schwerpunktfaser $^1/_{1000}$ cm $\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	Schwerpunktspannung σ_s t/cm² berechnet aus $\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,7	0,8	0,6	0,7	0,70	0,70	0,70	0,07	0,08	
6,0	1,4	1,6	1,4	1,4	1,40	1,50	1,45	0,15	0,16	
9,0	2,1	2,3	2,0	2,0	2,05	2,15	2,10	0,22	0,23	
12,0	2,8	3,1	2,8	2,6	2,70	2,95	2,83	0,30	0,31	
15,0	3,5	3,9	3,4	3,2	3,35	3,65	3,50	0,37	0,39	
18,0	4,3	4,6	4,0	3,9	4,10	4,30	4,20	0,44	0,47	
21,0	5,1	5,7	4,6	4,5	4,80	5,15	4,98	0,53	0,55	
24,0	6,0	7,0	4,7	4,9	5,45	5,85	5,65	0,60	0,62	
25,0	6,6	7,8	4,7	4,7	5,65	6,25	5,95	0,63	0,65	
26,0	7,5	8,6	4,4	4,6	6,05	6,50	6,28	0,66	0,68	
,5	8,2	9,6	3,8	4,3	6,25	6,70	6,48	0,68	0,69	
27,0	9.3	10,9	2,6	3,3	6,30	6,75	6,58	0,69	0,70	
,5	11,8	13,6	0,2	1,1	6,45	6,90	6,68	0,71	0,72	
27,8	*Knickung*									

*) $\Delta l_0 = \frac{I...IV}{4} = \frac{I+II+III+IV}{4}$

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*
Knotenabstand: 40 cm

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $J_{min} = 579{,}18$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $i_{min} = 3{,}88$ » ;

Stablängen. $l_0 = 616\ cm$; $l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$.

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm am Apparat I	II	III	IV	Verkürzung der Schwerpunktfaser $^1/_{1000}$ cm $\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	Schwerpunktspannung σ_s t/cm² berechnet aus $\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,75	0,75	0,75	0,08	0,08	
6,0	1,7	1,4	1,3	1,0	1,35	1,35	1,35	0,14	0,16	
9,0	2,5	2,3	2,0	1,4	2,00	2,15	2,05	0,22	0,23	
12,0	3,4	3,1	2,6	2,1	2,75	2,85	2,80	0,30	0,31	
15,0	4,2	3,9	3,3	2,4	3,30	3,60	3,45	0,36	0,39	
18,0	5,1	4,7	3,9	3,0	4,05	4,30	4,38	0,46	0,47	
21,0	6,1	5,6	4,4	3,4	4,75	5,00	4,88	0,52	0,55	
24,0	7,6	6,9	4,5	3,4	5,55	5,70	5,60	0,59	0,62	
25,0	8,2	7,7	4,5	3,2	5,70	6,10	5,93	0,63	0,65	
26,0	9,2	8,4	4,2	2,7	5,95	6,30	6,13	0,65	0,68	
,5	10,0	9,1	3,7	2,2	6,10	6,40	6,25	0,66	0,69	
27,0	11,3	10,5	2,7	1,3	6,30	6,60	6,45	0,68	0,70	
,5	13,0	12,2	1,1	0,3	6,35	6,65	6,65	0,70	0,72	
28,0	*Knickung*									

*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen*, Knotenabstand: 40 cm.

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$;	$i_{max} = 5{,}21\ cm$;	$l_0 = 616\ cm$;
$J_{min} = 579{,}18$ » ;	$i_{min} = 3{,}88$ » ;	$l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n=\sqrt{x_0^2+y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s=\frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σmax	σmin	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	—0,01	—0,01	0,014	0,08	0,08	0,08	
6,0	0,00	—0,01	0,010	0,16	0,16	0,16	
9,0	0,02	0,01	0,022	0,23	0,23	0,23	Bei ca. 10,5 t Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
12,0	—0,02	0,04	0,044	0,31	0,32	0,30	
15,0	—0,06	0,04	0,072	0,39	0,42	0,36	
18,0	—0,11	0,05	0,121	0,47	0,50	0,44	
21,0	—0,18	0,06	0,190	0,55	0,61	0,49	
24,0	—0,36	0,07	0,367	0,62	0,74	0,50	
25,0	—0,47	0,10	0,480	0,65	0,81	0,49	
26,0	—0,68	0,12	0,690	0,68	0,92	0,44	
,5	—0,86	0,13	0,870	0,69	1,01	0,37	
27,0	—1,12	0,13	1,120	0,70	1,09	0,31	
,5	—1,54	0,16	1,548	0,72	1,25	0,19	
28,0	*Knickung*						

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen,*
Knotenabstand: 40 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1045{,}48$ *cm*⁴; $J_{min} = 579{,}18$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 5{,}21$ *cm*; $i_{min} = 3{,}88$ » ;

Stablängen. $l_0 = 616$ *cm*; $l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54$ *cm*².

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000}$ *cm* Apparat II	Apparat III	Differenz $\Delta(\Delta l)$	Entsprechende Faserspannung $\sigma = \eta\Delta(\Delta l)$	Aus den Längenänderungen berechnete Faserspannungen t/cm^2 im Schwerpunkte σ_s	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,8	0,7	0,1	0,00	0,08	0,08	0,08	
6,0	1,4	1,3	0,1	0,00	0,14	**0,14**	**0,14**	Bei ca. **7,5** *t* Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
9,0	2,3	2,0	0,3	0,01	0,22	0,23	0,20	
12,0	3,1	2,6	0,5	0,02	0,30	0,32	0,28	
15,0	3,9	3,3	0,6	0,03	0,36	0,39	0,33	
18,0	4,7	3,9	0,8	0,03	0,46	0,49	0,43	
21,0	5,6	4,4	1,2	0,05	0,52	0,57	0,47	
24,0	6,9	4,5	2,4	0,09	0,59	0,68	0,50	
25,0	7,7	4,5	3,2	0,14	0,63	0,77	0,49	
26,0	8,4	4,2	4,2	0,18	0,65	0,83	0,47	
,5	9,1	3,7	5,4	0,23	0,66	0,89	0,43	
27,0	10,5	2,7	7,8	0,33	0,68	1,01	0,35	
,5	12,2	1,1	11,1	0,47	0,70	1,17	0,23	
28,0	*Knickung*							

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1045{,}48$ *cm*⁴;	$i_{max} = 5{,}21$ *cm*;	$l_0 = 616$ *cm*;
$J_{min} = 579{,}18$ » ;	$i_{min} = 3{,}88$ » ;	$l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54$ *cm*². *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ *cm* am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $^1/_{1000}$ *cm*			Schwerpunktspannung σ_s t/cm^2 berechnet aus		Bemerkungen
	I	*II*	*III*	*IV*	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,6	0,6	0,8	0,9	0,75	0,70	0,73	0,08	0,08	
6,0	1,2	1,2	1,6	1,7	1,45	1,40	1,43	0,15	0,16	
9,0	1,9	1,7	2,4	2,4	2,15	2,05	2,10	0,22	0,23	
12,0	2,6	2,3	3,3	3,3	2,95	2,80	2,88	0,30	0,31	
15,0	3,2	2,9	4,0	4,0	3,60	3,45	3,53	0,37	0,39	
18,0	3,8	3,4	4,3	5,0	4,40	3,85	4,13	0,44	0,47	
21,0	4,4	3,8	5,9	5,9	5,15	4,85	5,00	0,53	0,55	
24,0	4,5	3,8	7,3	7,4	5,95	5,55	5,75	0,61	0,62	
25,0	4,5	3,7	8,1	8,0	6,25	5,90	6,08	0,64	0,65	
26,0	4,3	3,1	9,8	8,9	6,60	6,45	6,53	0,69	0,68	
26,5	3,7	2,4	10,2	9,9	6,80	6,30	6,55	0,69	0,69	
27,0	2,4	1,1	12,0	11,4	6,90	6,55	6,73	0,71	0,70	
27,5	1,0	−2,0	15,7	15,2	8,10	6,85	7,48	0,79	0,72	
27,7	*Knickung*		—	—	—	—	—	—	—	

*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente. *Trägheitshalbmesser.* *Stablängen.*

$J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $l_0 = 616\ cm$;

$J_{min} = 579{,}18$ » ; $i_{min} = 3{,}88$ » ; $l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,00	−0,01	0,010	0,08	0,08	0,08	
6,0	+0,02	−0,02	0,028	0,16	**0,16**	**0,16**	Bei ca. **7,5 t** Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
9,0	+0,04	−0,01	0,041	0,23	0,24	0,22	
12,0	+0,06	+0,01	0,061	0,31	0,31	0,31	
15,0	+0,07	+0,01	0,071	0,39	0,40	0,38	
18,0	+0,10	+0,01	0,100	0,47	0,49	0,45	
21,0	+0,17	+0,04	0,175	0,55	0,60	0,50	
24,0	+0,34	+0,05	0,344	0,62	0,72	0,52	
25,0	+0,46	+0,08	0,467	0,65	0,80	0,50	
26,0	+0,70	+0,08	0,705	0,68	0,90	0,46	
26,5	+0,92	+0,09	0,924	0,69	1,00	0,38	
27,0	+1,32	+0,10	1,324	0,70	1,15	0,25	
27,5	+2,17	+0,13	2,174	0,72	1,46	−0,02	
27,7	*Knickung*		—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1045{,}48$ cm^4;	$i_{max} = 5{,}21$ cm;	$l_0 = 616$ cm;
$J_{min} = 579{,}18$ » ;	$i_{min} = 3{,}88$ » ;	$l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54$ cm^2. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm Apparat I	Apparat IV	Differenz $\Delta(\Delta l)$	Entsprechende Faserspannung $\sigma = \eta\Delta(\Delta l)$	Aus den Längenänderungen berechnete Faserspannungen t/cm^2 im Schwerpunkte σ_s	in den Profilspitzen σmax	σmin	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	**0,00**	**0,00**	Wahrscheinlich schon bei **2,0** t Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
3,0	0,6	0,9	0,3	0,01	0,08	0,09	0,07	
6,0	1,2	1,7	0,5	0,02	0,15	0,17	0,13	
9,0	1,9	2,4	0,5	0,02	0,22	0,24	0,20	
12,0	2,6	3,3	0,7	0,03	0,30	0,33	0,27	
15,0	3,2	4,0	0,8	0,03	0,37	0,40	0,34	
18,0	3,8	5,0	1,2	0,05	0,44	0,49	0,39	
21,0	4,4	5,9	1,5	0,06	0,53	0,59	0,47	
24,0	4,5	7,4	2,9	0,12	0,61	0,73	0,49	
25,0	4,5	8,4	3,9	0,17	0,64	0,81	0,47	
26,0	4,3	8,9	4,6	0,20	0,69	0,89	0,49	
26,5	3,7	9,9	6,2	0,27	0,69	0,96	0,42	
27,0	2,4	11,4	9,0	0,38	0,71	1,09	0,33	
27,5	1,0	15,2	14,2	0,61	0,79	1,40	0,18	
27,7	*Knickung*		—	—	—	—	—	

2. *Serie; Lieferant:* **Th. Bell & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;* Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $J_{min} = 579{,}18$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $i_{min} = 3{,}88$ » ;

Stablängen. $l_0 = 616\ cm$; $l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $^1/_{1000}$ cm			Schwerpunktspannung σ_s t/cm^2 berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	1,0	1,1	0,4	0,6	0,80	0,75	0,78	0,08	0,08	
6,0	1,7	2,1	0,9	1,2	1,45	1,50	1,48	0,16	0,16	
9,0	2,5	3,0	1,4	1,6	2,05	2,20	2,13	0,23	0,23	
12,0	3,3	4,1	1,8	2,2	2,75	2,95	2,85	0,30	0,31	
15,0	4,2	5,3	2,1	2,8	3,50	3,70	3,60	0,38	0,39	
18,0	5,1	6,4	2,2	3,3	4,20	4,30	4,25	0,45	0,47	
21,0	6,5	8,2	2,3	3,6	5,05	5,25	5,15	0,54	0,55	
24,0	8,7	11,1	1,1	2,9	5,80	6,20	6,00	0,63	0,62	
25,0	10,2	13,0	−0,2	2,0	6,10	6,40	6,25	0,66	0,65	
25,5	11,5	14,5	−1,2	1,0	6,25	6,65	6,45	0,68	0,66	
26,0	13,2	—	−3,0	−0,7	—	—	—	—	0,68	
26,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,69	
26,80	*Knickung*		—	—	—	—	—	—	—	

*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. *Serie; Lieferant:* **Th. Bell & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;*
Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1045{,}48$ *cm*⁴; $J_{min} = 579{,}18$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 5{,}21$ *cm*; $i_{min} = 3{,}88$ » ;

Stablängen. $l_0 = 616$ *cm*; $l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54$ *cm*²

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n=\sqrt{x_0^2+y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s=\frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	−0,05	−0,06	0,079	0,08	0,08	0,08	
6,0	−0,06	−0,11	0,125	0,16	**0,17**	**0,15**	Bei ca. **6,0** *t* Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
9,0	−0,10	−0,10	0,142	0,23	0,25	0,21	
12,0	−0,13	−0,09	0,158	0,31	0,34	0,28	
15,0	−0,20	−0,11	0,228	0,39	0,43	0,35	
18,0	−0,33	−0,15	0,362	0,47	0,56	0,38	
21,0	−0,54	−0,18	0,570	0,55	0,71	0,39	
24,0	−1,01	−0,23	1,036	0,62	0,95	0,29	
25,0	−1,37	−0,26	1,394	0,65	1,11	0,19	
25,5	−1,66	−0,26	1,680	0,66	1,23	0,09	
26,0	−2,11	−0,27	2,127	0,68	1,49	−0,13	
26,5	−2,86	−0,28	2,873	0,69	1,65	−0,27	
26,8	*Knickung*		—	—	—	—	
26,8	−5,84	−0,41	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;*
Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $J_{min} = 579{,}18$ » ;
Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $i_{min} = 3{,}88$ » ;
Stablängen. $l_0 = 616\ cm$; $l = 641$ » .
Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm Apparat II	Apparat III	Differenz $\Delta(\Delta l)$	Entsprechende Faserspannung $\sigma = \eta\,\Delta(\Delta l)$	Aus den Längenänderungen berechnete Faserspannungen t/cm^2 im Schwerpunkte σ_s	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	**0,00**	**0,00**	Wahrscheinlich schon bei **2,0 t** Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
3,0	1,0	0,6	0,4	0,02	0,08	0,10	0,06	
6,0	1,7	1,2	0,5	0,02	0,16	0,18	0,14	
9,0	2,5	1,6	0,9	0,04	0,23	0,27	0,19	
12,0	3,3	2,2	1,1	0,05	0,30	0,35	0,25	
15,0	4,2	2,8	1,4	0,06	0,38	0,44	0,32	
18,0	5,1	3,3	1,8	0,08	0,45	0,53	0,37	
21,0	6,5	3,6	2,9	0,13	0,54	0,67	0,41	
24,0	8,7	2,9	5,8	0,26	0,63	0,89	0,37	
25,0	10,2	2,0	8,2	0,36	0,66	1,02	0,30	
25,5	11,5	1,0	10,5	0,47	0,68	1,15	0,21	
26,0	13,2	−0,7	13,9	0,62	—	—	—	
26,5	—	—	—	—	—	—	—	
26,8	*Knickung*		—	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 12. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 75 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1045{,}48$ cm^4;	$i_{max} = 5{,}21$ cm;	$l_0 = 616$ cm;
$J_{min} = 579{,}18$ » ;	$i_{min} = 3{,}88$ » ;	$l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54$ cm^2. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm am Apparat I	II	III	IV	Verkürzung der Schwerpunktfaser $^1/_{1000}$ cm $\frac{I+II}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	Schwerpunktspannung σ_s t/cm² berechnet aus $\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,75	0,75	0,75	0,08	0,08	
6,0	1,4	1,5	1,4	1,3	1,35	1,45	1,40	0,15	0,16	
9,0	1,9	2,1	2,2	1,9	1,90	2,15	2,03	0,21	0,23	
12,0	2,9	2,8	3,1	2,8	2,85	2,95	2,90	0,31	0,31	
15,0	3,0	3,4	4,1	4,3	3,65	3,75	3,70	0,39	0,39	
18,0	3,1	3,7	5,1	5,5	4,30	4,40	4,35	0,46	0,47	
21,0	3,0	3,8	6,5	6,7	4,85	5,15	5,00	0,53	0,55	
24,0	2,2	3,0	9,0	9,0	5,60	6,00	5,80	0,61	0,62	
25,0	1,0	1,9	10,6	10,9	5,95	6,25	6,10	0,64	0,65	
25,5	0,0	0,9	12,1	11,8	5,90	6,50	6,20	0,65	0,66	
26,0	−1,4	−0,5	14,4	12,9	5,75	6,95	6,35	0,67	0,68	
26,5	−4,3	−3,5	—	—	—	—	—	—	0,69	
26,85	*Knickung*		—	—	—	—	—	—	—	

*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Liefrant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 12. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 75 *cm.*

Trägheitsmomente. *Trägheitshalbmesser.* *Stablängen.*

$J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $l_0 = 616\ cm$;

$J_{min} = 579{,}18$ » ; $i_{min} = 3{,}88$ » ; $l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	−0,05	+0,01	0,051	0,08	0,08	0,08	
6,0	+0,03	0,00	+0,030	0,16	0,16	0,16	
9,0	+0,06	0,01	0,061	0,23	**0,24**	**0,22**	Bei ca. **9,0** *t* Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
12,0	+0,11	−0,02	0,112	0,31	0,33	0,29	
15,0	+0,18	0,08	0,197	0,39	0,43	0,35	
18,0	+0,28	0,08	0,292	0,47	0,54	0,40	
21,0	+0,48	−0,07	0,485	0,55	0,68	0,42	
24,0	+0,96	−0,08	0,964	0,62	0,91	0,33	
25,0	+1,33	−0,09	1,333	0,65	1,06	0,24	
25,5	+1,62	−0,10	1,623	0,66	1,17	0,15	
26,0	+2,03	−0,13	2,033	0,68	1,34	0,02	
26,5	+2,77	−0,14	2,773	0,69	1,59	−0,21	
26,85	*Knickung*		—	—	—	—	
26,85	+5,36	0,26	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 12. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 75 *cm.*

Trägheitsmomente. *Trägheitshalbmesser.* *Stablängen.*

$J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $l_0 = 616\ cm$;

$J_{min} = 579{,}18$ » ; $i_{min} = 3{,}88$ » ; $l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm Apparat II	Apparat III	Differenz $\Delta(\Delta l)$	Entsprechende Faserspannung $\sigma = \eta\,\Delta(\Delta l)$	Aus den Längenänderungen berechnete Faserspannungen t/cm^2 im Schwerpunkte σ_s	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,8	0,7	0,1	0,00	0,08	0,08	0,08	
6,0	1,5	1,4	0,1	0,00	0,15	0,15	0,15	
9,0	2,1	2,2	0,1	0,00	0,21	0,21	0,21	
12,0	2,8	3,1	0,3	0,01	0,31	**0,32**	**0,30**	Bei ca. **12,0 t** Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
15,0	3,4	4,1	0,7	0,03	0,39	0,42	0,36	
18,0	3,7	5,1	1,3	0,06	0,46	0,52	0,40	
21,0	3,8	6,5	2,7	0,12	0,53	0,65	0,41	
24,0	3,0	9,0	6,0	0,26	0,61	0,87	0,35	
25,0	1,9	10,6	8,7	0,37	0,64	1,01	0,27	
25,5	0,9	12,1	11,2	0,48	0,65	1,13	0,17	
26,0	-0,5	14,4	14,9	0,64	0,67	1,31	0,03	
26,5	-3,5	—	—	—	—	—	—	
26,85	*Knickung*		—	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 11. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen;*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;*
Knotenabstand: 75 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$;	$i_{max} = 5{,}21\ cm$;	$l_0 = 616\ cm$;
$J_{min} = 579{,}18$ » ;	$i_{min} = 3{,}88$ » ;	$l = 641$ » ;

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $^1/_{1000}$ cm			Schwerpunktspannung σ_s t/cm^2 berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,7	0,6	0,7	0,8	0,75	0,65	0,70	0,07	0,08	
6,0	1,3	1,2	1,4	1,6	1,45	1,30	1,38	0,15	0,16	
9,0	1,9	1,9	2,2	2,5	2,20	2,05	2,13	0,23	0,23	
12,0	2,4	2,7	3,0	3,6	3,00	2,85	2,93	0,31	0,31	
15,0	2,8	3,3	3,9	4,6	3,70	3,60	3,65	0,39	0,39	
18,0	3,1	3,8	4,9	5,6	4,35	4,35	4,35	0,46	0,47	
21,0	3,2	4,1	6,2	7,2	5,20	5,15	5,18	0,55	0,55	
24,0	2,8	3,8	8,3	9,2	6,00	6,05	6,03	0,64	0,62	
25,0	2,0	3,1	9,4	11,2	6,60	6,25	6,43	0,68	0,65	
26,0	0,1	1,5	11,9	14,1	7,10	6,70	6,90	0,73	0,68	
26,5	–1,6	–0,1	13,8	—	—	—	—	—	0,69	
27,0	–8,4	–6,7	—	—	—	—	—	—	0,70	
27,0	*Knickung*		—	—	—	—	—	—	—	

*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 11. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;*
Knotenabstand: 75 *cm.*

Trägheitsmomente.
$J_{max} = 1045{,}48$ cm^4;
$J_{min} = 579{,}18$ » ;

Trägheitshalbmesser.
$i_{max} = 5{,}21$ cm;
$i_{min} = 3{,}88$ » ;

Stablängen.
$l_0 = 616$ cm;
$l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54$ cm^2.

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n=\sqrt{x_0^2+y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s=\frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	+0,07	0,00	0,070	0,08	0,08	0,08	
6,0	+0,09	+0,01	0,091	0,16	**0,16**	**0,16**	Bei ca. **7,5** t Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
9,0	+0,11	0,00	0,110	0,23	0,24	0,22	
12,0	+0,13	+0,01	0,131	0,31	0,33	0,29	
15,0	+0,19	0,00	0,190	0,39	0,42	0,36	
18,0	+0,26	−0,03	0,261	0,47	0,53	0,41	
21,0	+0,41	−0,04	0,411	0,55	0,66	0,44	
24,0	+0,79	−0,06	0,792	0,62	0,84	0,40	
25,0	+1,04	−0,08	1,043	0,65	0,98	0,32	
26,0	+1,57	−0,09	1,573	0,68	1,19	0,17	
26,5	+2,10	−0,11	2,105	0,69	1,38	0,00	
27,0	*Knickung*		—	—	—	—	
27,0	+5,60	−0,16	—	—	—	—	

2. Serie: Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 11. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen;*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;*
Knotenabstand: 75 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$;	$i_{max} = 5{,}21\ cm$;	$l_0 = 616\ cm$;
$J_{min} = 579{,}18$ » ;	$i_{min} = 3{,}88$ » ;	$l = 641$ » ;

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $^1/_{1000}$ cm			Schwerpunktspannung σ_s t/cm^2 berechnet aus		Bemerkungen
	I	II	III	IV	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,7	0,6	0,7	0,8	0,75	0,65	0,70	0,07	0,08	
6,0	1,3	1,2	1,4	1,6	1,45	1,30	1,38	0,15	0,16	
9,0	1,9	1,9	2,2	2,5	2,20	2,05	2,13	0,23	0,23	
12,0	2,4	2,7	3,0	3,6	3,00	2,85	2,93	0,31	0,31	
15,0	2,8	3,3	3,9	4,6	3,70	3,60	3,65	0,39	0,39	
18,0	3,1	3,8	4,9	5,6	4,35	4,35	4,35	0,46	0,47	
21,0	3,2	4,1	6,2	7,2	5,20	5,15	5,18	0,55	0,55	
24,0	2,8	3,8	8,3	9,2	6,00	6,05	6,03	0,64	0,62	
25,0	2,0	3,1	9,4	11,2	6,60	6,25	6,43	0,68	0,65	
26,0	0,1	1,5	11,9	14,1	7,10	6,70	6,90	0,73	0,68	
26,5	–1,6	–0,1	13,8	—	—	—	—	—	0,69	
27,0	–8,4	–6,7	—	—	—	—	—	—	0,70	
27,0	*Knickung*		—	—	—	—	—	—	—	

*) vide Fussbemerkung auf Seite **45.**

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 11. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;*
Knotenabstand: 75 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $J_{min} = 579{,}18$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $i_{min} = 3{,}88$ » ;

Stablängen. $l_0 = 616\ cm$; $l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$.

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n=\sqrt{x_0^2+y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σmax	σmin	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	+0,07	0,00	0,070	0,08	0,08	0,08	
6,0	+0,09	+0,01	0,091	0,16	**0,16**	**0,16**	Bei ca. 7,5 *t* Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
9,0	+0,11	0,00	0,110	0,23	0,24	0,22	
12,0	+0,13	+0,01	0,131	0,31	0,33	0,29	
15,0	+0,19	0,00	0,190	0,39	0,42	0,36	
18,0	+0,26	−0,03	0,261	0,47	0,53	0,41	
21,0	+0,41	−0,04	0,411	0,55	0,66	0,44	
24,0	+0,79	−0,06	0,792	0,62	0,84	0,40	
25,0	+1,04	−0,08	1,043	0,65	0,98	0,32	
26,0	+1,57	−0,09	1,573	0,68	1,19	0,17	
26,5	+2,10	−0,11	2,105	0,69	1,38	0,00	
27,0	*Knickung*		—	—	—	—	
27,0	+5,60	−0,16	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 11. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;*
Knotenabstand: 75 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $J_{min} = 579{,}18$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $i_{min} = 3{,}88$ » ;

Stablängen. $l_0 = 616\ cm$; $l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm Apparat II	Apparat III	Differenz $\Delta(\Delta l)$	Entsprechende Faserspannung $\sigma = \eta\Delta(\Delta l)$	Aus den Längenänderungen berechnete Faserspannungen t/cm^2 im Schwerpunkte σ_s	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,6	0,7	0,1	0,00	0,07	0,07	0,07	
6,0	1,2	1,4	0,2	0,01	**0,15**	**0,16**	**0,14**	Bei ca. **6,0** *t* Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
9,0	1,9	2,2	0,3	0,01	0,23	0,24	0,21	
12,0	2,7	3,0	0,3	0,01	0,31	0,32	0,30	
15,0	3,3	3,9	0,6	0,03	0,39	0,42	0,36	
18,0	3,8	4,9	1,1	0,05	0,46	0,51	0,41	
21,0	4,1	6,2	2,1	0,09	0,55	0,64	0,46	
24,0	3,8	8,3	4,5	0,19	0,64	0,83	0,45	
25,0	3,1	9,4	6,3	0,27	0,68	0,95	0,41	
26,0	1,5	11,9	10,4	0,44	0,73	1,17	0,29	
26,5	−0,1	13,8	13,9	0,59	—	—	—	
27,0	*Knickung*		—	—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: Th. Bell & Co., Brückenbau-Anstalt, Kriens.

Versuch Nr. 10. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;* Knotenabstand: 100 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1045{,}48$ cm^4;	$i_{max} = 5{,}21$ cm;	$l_0 = 616$ cm;
$J_{min} = 579{,}18$ »	$i_{min} = 3{,}88$ cm;	$l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54$ cm^2. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm am Apparat				Verkürzung der Schwerpunktfaser $^1/_{1000}$ cm			Schwerpunktspannung σ_s t/cm^2 berechnet aus		Bemerkungen
	I	*II*	*III*	*IV*	$\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	$\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,7	0,7	0,7	0,8	0,75	0,70	0,73	0,08	0,08	
6,0	1,3	1,4	1,3	1,7	1,50	1,35	1,43	0,15	0,16	
9,0	1,8	2,1	2,0	2,4	2,10	2,05	2,08	0,22	0,23	
12,0	2,3	2,8	2,6	3,3	2,80	2,70	2,75	0,29	0,31	
15,0	2,7	3,4	3,4	4,3	3,50	3,40	3,45	0,36	0,39	
18,0	3,1	4,1	4,0	5,2	4,15	4,05	4,10	0,43	0,47	
21,0	3,3	4,6	4,9	7,3	5,30	4,75	5,03	0,53	0,55	
24,0	3,3	4,8	6,2	8,7	6,00	5,50	5,75	0,61	0,62	
25,0	3,2	4,6	6,8	9,5	6,35	5,70	6,03	0,64	0,65	
26,0	2,4	4,1	8,0	10,9	6,65	6,05	6,35	0,67	0,68	
26,5	1,9	3,5	8,7	11,9	6,90	6,10	6,50	0,69	0,69	
27,0	0,7	2,5	9,9	13,5	7,10	6,20	6,65	0,70	0,70	
27,5	—1,0	0,3	12,2	15,8	7,40	6,25	6,83	0,72	0,72	
28,0	—7,7	—7,9	—	—	—	—	—	—	0,73	
28,05	*Knickung*		—	—	—	—	—	—	—	

*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 10. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 100 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$;	$i_{max} = 5{,}21\ cm$;	$l_0 = 616\ cm$;
$J_{min} = 579{,}18$ » ;	$i_{min} = 3{,}88$ » ;	$l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n=\sqrt{x_0^2+y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σmax	σmin	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,01	−0,03	0,031	0,08	0,08	0,08	
6,0	0,02	−0,07	0,073	0,16	0,16	0,16	
9,0	0,04	−0,07	0,081	0,23	**0,24**	**0,22**	Bei ca. **9,0** *t* Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
12,0	0,06	−0,08	0,100	0,31	0,33	0,29	
15,0	0,10	−0,09	0,135	0,39	0,42	0,36	
18,0	0,14	−0,12	0,184	0,47	0,52	0,42	
21,0	0,21	−0,17	0,270	0,55	0,64	0,46	
24,0	0,42	−0,21	0,470	0,62	0,78	0,46	
25,0	0,56	−0,22	0,602	0,65	0,86	0,44	
26,0	0,80	−0,25	0,838	0,68	0,98	0,38	
26,5	0,99	−0,27	1,026	0,69	1,06	0,32	
27,0	1,29	−0,28	1,320	0,70	1,17	0,23	
27,5	1,91	−0,29	1,932	0,72	1,41	0,03	
28,0	3,68	−0,31	3,693	0,73	2,03	−0,57	
28,05	*Knickung*		—	—	—	—	

2. Serie; Lieferant: **Th. Bell & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Kriens.*

Versuch Nr. 10. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;* Knotenbstand: 100 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1045{,}48$ *cm*^{4};	$i_{max} = 5{,}21$ *cm.*	$l_0 = 616$ *cm*;
$J_{min} = 579{,}18$ » ;	$i_{min} = 3{,}88$ »	$l = 641$ » .

Querschnittsfläche: $F = 38{,}54$ *cm*^{2}. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ *cm* Apparat II	Apparat III	Differenz $\Delta(\Delta l)$	Entsprechende Faserspannung $\sigma = \eta\,\Delta(\Delta l)$	Aus den Längenänderungen berechnete Faserspannungen t/cm^2 im Schwerpunkte σ_s	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
3,0	0,7	0,7	0,0	0,00	0,08	0,08	0,08	
6,0	1,4	1,3	0,1	0,00	0,15	0,15	0,15	
9,0	2,1	2,0	0,1	0,00	0,22	0,22	0,22	
12,0	2,8	2,6	0,2	0,01	0,29	0,30	0,28	
15,0	3,4	3,4	0,0	0,00	0,36	0,36	0,36	
18,0	4,1	4,0	0,1	0,00	0,43	**0,44**	**0,43**	Bei ca. **18,0** *t* Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
21,0	4,6	4,9	0,3	0,01	0,53	0,54	0,52	
24,0	4,8	6,2	1,4	0,06	0,61	0,67	0,55	
25,0	4,6	6,8	2,2	0,09	0,64	0,74	0,54	
26,0	4,1	8,0	3,9	0,17	0,67	0,84	0,50	
26,5	3,5	8,7	5,2	0,22	0,69	0,91	0,47	
27,0	2,5	9,9	7,4	0,32	0,70	1,02	0,38	
27,5	0,3	12,2	11,9	0,51	0,72	1,23	0,21	
28,0	–7,9	—	—	—	—	—	—	
28,05	*Knickung.*		—	—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 16. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 50 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1810{,}20\ cm^4$;	$i_{max} = 6{,}05\ cm$;	$l_0 = 610\ cm$;
$J_{min} = 1034{,}70$ » ;	$i_{min} = 4{,}57$ » ;	$l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm am Apparat I	II	III	IV	Verkürzung der Schwerpunktfaser $^1/_{1000}$ cm $\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	Schwerpunktspannung σ_s t/cm^2 berechnet aus $\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00	0,11	0,10	
10,0	1,9	1,8	2,0	1,8	1,85	1,90	1,88	0,20	0,20	
15,0	2,7	2,5	3,0	3,0	2,85	2,75	2,80	0,30	0,30	
20,0	3,5	3,3	4,0	4,1	3,80	3,65	3,73	0,40	0,40	
25,0	4,4	4,0	5,1	5,2	4,80	4,55	4,68	0,50	0,51	
30,0	5,1	4,6	6,1	6,4	5,75	5,35	5,55	0,59	0,61	
34,0	5,6	5,0	7,1	7,2	6,40	6,05	6,23	0,66	0,69	
38,0	6,1	5,3	8,3	8,5	7,30	6,80	7,05	0,75	0,77	
42,0	6,4	5,4	9,4	10,0	8,20	7,40	7,80	0,83	0,85	
46,0	6,3	5,1	11,3	12,0	8,15	8,20	8,18	0,87	0,93	
47,0	6,0	4,8	12,0	12,9	8,45	8,40	8,43	0,89	0,95	
48,0	5,6	4,3	13,0	13,8	9,70	8,65	9,18	0,97	0,97	
49,0	4,7	3,2	14,3	14,9	9,80	8,75	9,28	0,99	0,99	
50,0	3,0	1,3	—	—	—	—	—	—	1,01	
50,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
51,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
51,12	*Knickung*		—	—	—	—	—	—	—	

*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 16. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 50 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1810{,}20\ cm^4$; $J_{min} = 1034{,}70$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $i_{min} = 4{,}57$ » ;

Stablängen. $l_0 = 610\ cm$; $l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s = \frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	*Spur*	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	
10,0	0,03	0,00	0,03	0,20	0,20	0,20	
15,0	0,04	0,00	0,04	0,30	**0,31**	**0,29**	Bei ca. **17,5 *t*** Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
20,0	0,06	0,00	0,06	0,40	0,41	0,39	
25,0	0,08	0,01	0,08	0,51	0,53	0,49	
30,0	0,12	0,02	0,12	0,61	0,64	0,58	
34,0	0,15	0,02	0,15	0,69	0,71	0,67	
38,0	0,21	0,03	0,21	0,77	0,84	0,70	
42,0	0,32	0,05	0,32	0,85	0,97	0,73	
46,0	0,59	0,07	0,59	0,93	1,18	0,68	
47,0	0,69	0,08	0,69	0,95	1,23	0,67	
48,0	0,93	0,08	0,93	0,97	1,34	0,60	
49,0	1,10	0,08	1,10	0,99	1,44	0,54	
50,0	1,52	0,08	1,52	1,01	1,63	0,39	
50,5	1,89	0,08	1,89	1,02	1,79	0,25	
51,0	2,73	0,07	2,73	1,03	2,15	—0,09	
51,12	*Knickung*		—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 16. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;* Knotenabstand: 50 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1810{,}20$ cm^4;	$i_{max} = 6{,}05$ cm;	$l_0 = 610$ cm;
$J_{min} = 1034{,}70$ » ;	$i_{min} = 4{,}57$ » ;	$l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50$ cm^2. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000}$ cm Apparat II	Apparat III	Differenz $\Delta(\Delta l)$	Entsprechende Faserspannung $\sigma = \eta\,\Delta(\Delta l)$	Aus den Längenänderungen berechnete Faserspannungen t/cm^2 im Schwerpunkte σ_s	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	1,0	1,0	0,0	0,00	0,11	0,11	0,11	
10,0	1,8	2,0	0,2	0,01	0,20	**0,21**	**0,19**	**Bei ca. 10,0 *t* Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.**
15,0	2,5	3,0	0,5	0,02	0,30	0,32	0,28	
20,0	3,3	4,0	0,7	0,03	0,40	0,43	0,37	
25,0	4,0	5,1	1,1	0,05	0,50	0,55	0,45	
30,0	4,6	6,1	1,5	0,07	0,59	0,66	0,52	
34,0	5,0	7,1	2,1	0,09	0,66	0,75	0,57	
38,0	5,3	8,3	3,0	0,13	0,75	0,88	0,62	
42,0	5,4	9,4	4,0	0,18	0,83	1,01	0,65	
46,0	5,1	11,3	6,2	0,28	0,87	1,15	0,59	
47,0	4,8	12,0	7,2	0,32	0,89	1,21	0,57	
48,0	4,3	13,0	8,7	0,39	0,97	1,36	0,58	
49,0	3,2	14,3	11,1	0,49	0,99	1,48	0,50	
50,0	1,3	—	—	—	—	—	—	
51,12	*Knickung*		—	—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;*
Knotenabstand: 50 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1810{,}20$ *cm*⁴;	$i_{max} = 6{,}05$ *cm*;	$l_0 = 610$ *cm*;
$J_{min} = 1034{,}70$ » ;	$i_{min} = 4{,}57$ » ;	$l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50$ *cm*². *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000}$ *cm* am Apparat I	II	III	IV	Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000}$ *cm* $\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	Schwerpunktspannung σ_s t/cm^2 berechnet aus $\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0 *)	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,9	1,0	1,0	1,1	1,00	1,00	1,00	0,11	0,10	*) Apparat III hat stellenweise versagt; die eingestellten Ablesungen sind von der 34 *t*-Belastung ab rechnerisch ermittelt.
10,0	1,7	1,9	1,9	2,0	1,85	1,90	1,88	0,20	0,20	
15,0	2,5	3,1	2,7	3,0	2,75	2,90	2,83	0,30	0,30	
20,0	3,3	4,2	3,4	4,3	3,80	3,80	3,80	0,40	0,40	
25,0	4,0	5,4	4,0	5,5	4,75	4,70	4,73	0,50	0,51	
30,0	4,7	6,5	4,6	6,6	5,65	5,55	5,60	0,59	0,61	
34,0	5,3	7,6	5,2	7,6	6,45	6,40	6,43	0,68	0,69	
38,0	5,7	8,7	5,8	8,6	7,15	7,25	7,20	0,76	0,77	
42,0	6,1	9,9	6,2	9,9	8,00	8,05	8,03	0,85	0,85	
46,0	6,6	10,9	6,6	10,9	8,75	8,75	8,75	0,93	0,93	
47,0	6,8	11,5	6,6	11,2	9,00	9,05	9,03	0,96	0,95	
48,0	7,1	12,3	6,5	11,4	9,25	9,60	9,43	1,00	0,97	
49,0	7,6	12,8	6,3	11,4	9,50	9,50	9,50	1,01	0,99	
50,0	8,2	13,9	5,6	11,2	9,70	9,75	9,73	1,03	1,01	
51,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
51,7	*Knickung*	—	—	—	—	—	—	—	—	

*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;* Knotenabstand: 50 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1810{,}20\ cm^4$; $J_{min} = 1034{,}70$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $i_{min} = 4{,}57$ » ;

Stablängen. $l_0 = 610\ cm$; $l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50\ cm^2$

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n=\sqrt{x_0^2+y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s=\frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σmax	σmin	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,00	−0,02	0,02	0,10	0,10	0,10	
10,0	0,00	−0,06	0,06	0,20	0,20	0,20	
15,0	0,00	−0,10	0,10	0,30	**0,31**	**0,29**	Bei ca. **15,0** *t* Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
20,0	−0,01	−0,13	0,13	0,40	0,42	0,38	
25,0	−0,02	−0,18	0,18	0,51	0,54	0,48	
30,0	−0,02	−0,23	0,23	0,61	0,65	0,57	
34,0	−0,02	−0,32	0,32	0,69	0,75	0,63	
38,0	−0,06	−0,37	0,37	0,77	0,86	0,68	
42,0	−0,08	−0,46	0,47	0,85	0,98	0,72	
46,0	−0,15	−0,55	0,57	0,93	1,12	0,74	
47,0	−0,19	−0,60	0,63	0,95	1,17	0,73	
48,0	−0,27	−0,65	0,70	0,97	1,24	0,70	
49,0	−0,35	−0,66	0,75	0,99	1,29	0,69	
50,0	−0,52	−0,70	0,87	1,01	1,40	0,62	
51,7	*Knickung*		—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 15. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;*
Knotenabstand: 50 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1810{,}20\ cm^4$; $J_{min} = 1034{,}70$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $i_{min} = 4{,}57$ » ;

Stablängen. $l_0 = 610\ cm$; $l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm Apparat II	Apparat III	Differenz $\Delta(\Delta l)$	Entsprechende Faserspannung $\sigma = \eta\Delta(\Delta l)$	Aus den Längenänderungen berechnete Faserspannungen t/cm^2 im Schwerpunkte σ_s	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,9	1,1	0,2	0,01	0,11	**0,12**	**0,10**	**Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung unsicher; liegt bei ca. 5,0 t.**
10,0	1,7	2,0	0,3	0,01	0,20	0,21	0,19	
15,0	2,5	3,0	0,5	0,02	0,30	0,32	0,28	
20,0	3,3	4,3	1,0	0,04	0,40	0,44	0,36	
25,0	4,0	5,5	1,5	0,07	0,50	0,57	0,43	
30,0	4,7	6,6	1,9	0,08	0,59	0,67	0,51	
34,0	5,3	7,6	2,3	0,10	0,68	0,78	0,58	
38,0	5,7	8,6	2,9	0,13	0,76	0,89	0,64	
42,0	6,1	9,9	3,8	0,17	0,85	1,02	0,68	
46,0	6,6	10,9	4,3	0,19	0,93	1,12	0,74	
47,0	6,8	11,2	4,4	0,20	0,96	1,16	0,76	
48,0	7,1	11,4	4,3	0,19	1,00	1,19	0,81	
49,0	7,6	11,4	3,8	0,17	1,01	1,18	0,84	
50,0	8,0	11,2	3,2	0,13	1,03	1,16	0,90	
51,7	*Knickung*		—	—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1810{,}20\ cm^4$; $J_{min} = 1034{,}70$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $i_{min} = 4{,}57$ » ;

Stablängen. $l_0 = 610\ cm$; $l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50\ cm^2$.

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000}$ cm am Apparat I	II	III	IV	Verkürzung der Schwerpunktfaser $\frac{1}{1000}$ cm $\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	Schwerpunktspannung σ_s t/cm^2 berechnet aus $\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0 *)	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	*) Apparat II unsicher; zeigt Störungen in den beobachteten Zahlenreihen im Belastungs-Intervalle 20 t aufwärts.
5,0	1,0	0,8	1,0	0,9	0,95	0,90	0,93	0,10	0,10	
10,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,95	1,90	1,93	0,21	0,20	
15,0	3,0	2,7	3,0	2,8	2,90	2,85	2,88	0,31	0,30	
20,0	4,1	3,4	4,2	3,6	3,85	3,80	3,83	0,41	0,40	
25,0	5,1	4,0	5,5	4,3	4,70	4,75	4,73	0,51	0,51	
30,0	6,2	4,4	6,8	5,1	5,65	5,60	5,63	0,60	0,61	
34,0	7,0	4,7	8,1	5,9	6,45	6,40	6,43	0,68	0,69	
38,0	7,9	4,8	9,4	6,5	7,20	7,10	7,15	0,77	0,77	
42,0	8,7	4,7	11,2	7,4	8,05	7,95	8,00	0,85	0,85	
46,0	9,2	4,0	13,4	8,2	8,70	8,60	8,65	0,92	0,93	
47,0	9,2	3,7	14,1	8,6	8,90	8,90	8,90	0,94	0,95	
48,0	9,2	3,1	15,0	9,2	9,20	9,05	9,13	0,97	0,97	
52,5	*Knickung*		—	—	—	—	—	—	—	

*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;* Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1810{,}20\ cm^4$; $J_{min} = 1034{,}70$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $i_{min} = 4{,}57$ » ;

Stablängen. $l_0 = 610\ cm$; $l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50\ cm^2$.

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n=\sqrt{x_0^2+y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s=\frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σmax	σmin	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,03	0,00	0,03	0,10	0,10	0,10	
10,0	0,04	0,00	0,04	0,20	**0,20**	**0,20**	Bei ca. **12,5 *t*** Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
15,0	0,05	0,08	0,09	0,30	0,31	0,29	
20,0	0,09	0,09	0,13	0,40	0,42	0,38	
25,0	0,09	0,18	0,20	0,51	0,55	0,47	
30,0	0,14	0,26	0,30	0,61	0,68	0,54	
34,0	0,18	0,32	0,37	0,69	0,80	0,58	
38,0	0,22	0,42	0,47	0,77	0,92	0,62	
42,0	0,33	0,53	0,62	0,85	1,08	0,62	
46,0	0,52	0,67	0,85	0,93	1,28	0,58	
47,0	0,56	0,72	0,91	0,95	1,34	0,56	
48,0	0,68	0,77	1,03	0,97	1,42	0,52	
49,0	0,82	0,82	1,16	0,99	1,52	0,46	
50,0	1,06	0,92	1,40	1,01	1,67	0,35	
51,0	1,64	1,03	1,94	1,03	1,97	0,09	
52,5	*Knickung*		—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 14. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *zweinietigen Kreuzplatten;*
Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1810{,}20\ cm^4$; $J_{min} = 1034{,}70$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $i_{min} = 4{,}57$ » ;

Stablängen. $l_0 = 610\ cm$; $l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50\ cm^2$.

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $\frac{1}{1000}$ cm Apparat II	Apparat III	Differenz $\Delta(\Delta l)$	Entsprechende Faserspannung $\sigma = \eta\Delta(\Delta l)$	Aus den Längenänderungen berechnete Faserspannungen t/cm^2 im Schwerpunkte σ_s	in den Profilspitzen σmax	σmin	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,8	1,0	0,2	0,01	0,10	0,11	0,09	
10,0	1,9	1,9	0,0	0,00	0,21	**0,21**	**0,21**	Bei ca. **12,5** t Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
15,0	2,7	3,0	0,3	0,01	0,31	0,32	0,30	
20,0	3,4	4,2	0,8	0,04	0,41	0,45	0,37	
25,0	4,0	5,5	1,5	0,07	0,51	0,58	0,44	
30,0	4,4	6,8	2,4	0,11	0,60	0,71	0,49	
34,0	4,7	8,1	3,4	0,15	0,68	0,83	0,53	
38,0	4,8	9,4	4,6	0,20	0,77	0,97	0,57	
42,0	4,7	11,2	6,5	0,29	0,85	1,14	0,56	
46,0	4,0	13,4	9,4	0,42	0,92	1,34	0,50	
47,0	3,7	14,1	10,4	0,46	0,94	1,40	0,48	
48,0	3,1	15,0	11,9	0,53	0,97	1,50	0,44	
52,5	*Knickung*		—	—	—	—	—	

3. *Serie; Lieferant:* **Buss & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;* Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente.	*Trägheitshalbmesser.*	*Stablängen.*
$J_{max} = 1810{,}20$ *cm*^{4};	$i_{max} = 6{,}05$ *cm*;	$l_0 = 610$ *cm*;
$J_{min} = 1034{,}70$ » ;	$i_{min} = 4{,}57$ » ;	$l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50$ *cm*^{2}. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in *t*	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ *cm* am Apparat *I*	*II*	*III*	*IV*	Verkürzung der Schwerpunktfaser $^1/_{1000}$ *cm* $\frac{I+IV}{2}$	$\frac{II+III}{2}$	$\frac{I...IV}{4}$ *)	Schwerpunktspannung σ_s *t*/*cm*^{2} berechnet aus $\frac{\varepsilon}{l}\Delta l_0$	$P:F$	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,90	0,90	0,90	0,10	0,10	
10,0	1,7	1,8	1,9	1,8	1,75	1,85	1,80	0,19	0,20	
15,0	2,5	2,7	3,0	3,2	2,85	2,85	2,85	0,30	0,30	Zwischen 15 u. 20 *t* beginnt eine Störung am Apparat No. II, die Ablesungen mussten korrigiert werden.
20,0	3,5	3,5	4,1	4,2	3,85	3,80	3,83	0,41	0,40	
25,0	4,3	4,4	5,2	5,5	4,90	4,80	4,85	0,52	0,51	
30,0	5,1	4,9	6,4	6,5	5,80	5,65	5,73	0,61	0,61	
34,0	5,6	5,4	7,4	7,5	6,55	6,40	6,48	0,69	0,69	
38,0	5,9	6,1	8,3	8,3	7,10	7,20	7,15	0,76	0,77	
42,0	6,4	5,6	10,2	9,5	7,95	7,90	7,93	0,84	0,85	
46,0	6,3	5,0	12,4	11,2	8,75	8,70	8,73	0,93	0,93	
47,0	6,0	4,5	13,3	12,2	9,10	8,90	9,00	0,96	0,95	
48,0	5,4	3,9	14,5	13,2	9,30	9,20	9,25	0,98	0,97	
49,0	4,1	—	—	—	—	—	—	—	—	
50,0	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	
50,2	*Knickung*	—	—	—	—	—	—	—	—	

*) vide Fussbemerkung auf Seite 45.

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.,** *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,*
deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;*
Knotenabstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1810{,}20$ *cm*⁴; $J_{min} = 1034{,}70$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 6{,}05$ *cm*; $i_{min} = 4{,}57$ » ;

Stablängen. $l_0 = 610$ *cm* ; $l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50$ *cm*².

Spitzenlagerung.

Belastung P in t	Coordinaten des Angriffspunktes x_0 cm	y_0 cm	Excentricität cm $n=\sqrt{x_0^2+y_0^2}$	Faserspannung t/cm^2 im Schwerpunkte $\sigma_s=\frac{P}{F}$	in den Profilspitzen σmax	σmin	Bemerkungen
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	
10,0	0,01	0,00	0,01	0,20	0,20	0,20	
15,0	0,03	0,00	0,03	0,30	**0,30**	**0,30**	Bei ca. **15** t Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
20,0	0,03	0,02	0,03	0,40	0,41	0,39	
25,0	0,07	0,01	0,07	0,51	0,53	0,49	
30,0	0,12	0,06	0,13	0,61	0,65	0,57	
34,0	0,13	0,04	0,14	0,69	0,73	0,65	
38,0	0,21	0,09	0,23	0,77	0,85	0,69	
42,0	0,32	0,13	0,35	0,85	0,99	0,71	
46,0	0,61	0,15	0,63	0,93	1,19	0,67	
47,0	0,73	0,14	0,74	0,95	1,26	0,64	
48,0	0,94	0,17	0,96	0,97	1,37	0,57	
49,0	1,29	0,16	1,30	0,99	1,53	0,45	
50,0	2,29	0,19	2,30	1,01	1,97	0,05	
50,2	*Knickung*		—	—	—	—	

3. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, *Brückenbau-Anstalt, Basel.*

Versuch Nr. 13. Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Konstruktion des Stabes mit *viernietigen Blechstreifen;* Knotenbstand: 60 *cm.*

Trägheitsmomente. $J_{max} = 1810{,}20\ cm^4$; $J_{min} = 1034{,}70$ » ;

Trägheitshalbmesser. $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $i_{min} = 4{,}57$ » ;

Stablängen. $l_0 = 610\ cm$; $l = 635$ » .

Querschnittsfläche: $F = 49{,}50\ cm^2$. *Spitzenlagerung.*

Belastung P in t	Beobachtete Faserverkürzung $^1/_{1000}$ cm Apparat I	Apparat IV	Differenz $\Delta(\Delta l)$	Entsprechende Faserspannung $\sigma = \eta\,\Delta(\Delta l)$	Aus den Längenänderungen berechnete Faserspannungen t/cm^2 im Schwerpunkte σ_s	in den Profilspitzen σ_{max}	σ_{min}	Bemerkungen
0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,0	0,9	0,9	0,0	0,00	0,10	0,10	0,10	
10,0	1,7	1,8	0,1	0,00	0,19	**0,19**	**0,19**	Bei ca. **12,5** *t* Beginn des Einflusses der Excentricität der Kraftwirkung.
15.0	2,5	3,2	0,7	0,03	0,30	0,33	0,27	
20,0	3,5	4,2	0,7	0,03	0,41	0,44	0,38	
25,0	4,3	5,5	1,2	0,05	0,52	0,57	0,47	
30,0	5,1	6,5	1,4	0,06	0,61	0,67	0,55	
34,0	5,6	7,5	1,9	0,08	0,69	0,77	0,61	
38,0	5,9	8,3	2,4	0,11	0,76	0,87	0,65	
42,0	6,4	9,5	3,1	0,14	0,84	0,98	0,70	
46,0	6,3	11,2	4,9	0,22	0,93	1,15	0,71	
47,0	6,0	12,2	6,2	0,29	0,96	1,25	0,67	
48,0	5,4	13,2	7,8	0,34	0,98	1,32	0,64	
49,0	4,1	—	—	—	—		—	
50,0	0,6	—	—	—	—	—	—	
50,2	*Knickung*		—	—	—	—	—	

Die unter No. 1 und 2 des vorliegenden Abschnitts mitgeteilten Versuchsresultate führen zu folgenden Schlüssen:

a. *In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Meyer'schen Versuche* (No. 1) *geht aus unseren Versuchen die Verwendbarkeit der Excentricitätsgleichung und die Richtigkeit der Navier'schen Spannungsformel bei Inanspruchnahmen des Materials innerhalb der Elasticitätsgrenze hervor.*

Bei Inanspruchnahmen jenseits der Elasticitäsgrenze oder bei Materialien, die dem Proportionalitätsgesetze nicht folgen, wird die Divergenz zwischen Rechnung und Beobachtung durch Erfahrungs-Koeffizienten auszugleichen sein.

b. *Die Verbiegungen anfänglich centrisch belasteter Druckstäbe beginnen regellos.*

c. *In Übereinstimmung mit älteren Versuchen* (vrgl. auch die auf Seite 11 mitgeteilten Fälle) *geht aus vorstehenden Versuchsresultaten hervor, dass das Material centrisch belasteter Druckstäbe sich anfänglich in einem gleichmässigen Spannungszustande befindet; die Kantenspannungen* (σ_I, σ_{II}) *sind den Schwerpunktsspannungen* (σ_s) *gleich.* Bezüglich des Eintritts ungleichmässiger Spannungszustände in unserm Versuchsmaterial giebt folgende Zusammenstellung nähere Aufschlüsse:

Serie No.	Versuch No.	Beginn der ungleichmässigen Materialinanspruchnahme: Berechnet aus der gemessenen Excentricität t absolut	t cm²	Verhältnis zur Knickkraft	Berechnet aus den gemessenen Kantenspannungen t absolut	t/cm²	Verhältnis zur Knickkraft	Mittel der Verhältniszahlen	Bemerkungen
2	16	10,5	0,27	2,65	4,5	0,11	6,20	4,43	
	15	10,5	0,27	2,66	7,5	0,20	3,74	3,20	
	14	7,5	0,20	3,70	(2,0)	(0,05)	(13,85)	—	Unsicher.
	13	6,0	0,16	4,47	(2,0)	(0,05)	(13,85)	—	Unsicher.
	12	9,0	0,21	2,98	12,0	0,31	2,24	2,61	
	11	7,5	0,20	3,60	6,0	0,16	4,50	4,05	
	10	9,0	0,21	3,12	18,0	0,43	1,56	2,34	
3	16	17,5	0,35	2,93	10,0	0,20	5,11	4,02	
	15	15,0	0,30	3,45	(5,0)	(0,12)	(10,34)	—	Unsicher.
	14	12,5	0,25	4,20	12,5	0,25	4,20	4,20	
	13	15,0	0,30	3,34	12,5	0,25	4,01	3,68	
	Summa	120,0	2,72	37,10	(92,0)	(2,13)	(69,60)	28,53	
	Mittel	10,9	0,25	3,37	(8,4)	(0,19)	(6,33)	3,56	

Aus vorstehenden Versuchsresultaten geht weiter hervor, dass

d. *das Verhältnis der Knickkraft zur Belastung, bei welchem die ungleichmässige Materialinanspruchnahme beginnt, je nach der angewandten Methode, und den Hülfsmitteln der Messung verschieden angetroffen wurde.*

Bei der direkten Messung der Excentricität mit $^1/_{10}$ *mm* Genauigkeit bewegt sich das fragliche Verhältnis zwischen 2,65 und 4,47 und beträgt im Mittel 3,37. Nach den Ergebnissen der Spannungsmessungen fällt der Beginn der ungleichmässigen Materialinanspruchnahme bei 3 Versuchen schon in die ersten Belastungsphasen, während bei den übrigen 8 Versuchen das fragliche Kraftverhältnis zwischen die weit auseinander liegenden Grenzwerte von 1,56 und 6,20 fällt.

e. *Unter Zugrundelegung der Resultate der direkten Messung der Excentricität würde selbst bei Stäben mit einem Längenverhältnis von:*

$$\frac{l}{i_{min}} = \frac{641}{3{,}88} = 166$$

eine 4,5 fache Sicherheit gegen Knickung genügen, um das Stabmaterial innerhalb einer gleichmässigen Materialinanspruchnahme zu erhalten, während die Resultate der Spannungsmessung, soferne man von den 3 Ausnahmsfällen absieht, die Anordnung einer 6-fachen Sicherheit zur Erreichung dieses Zustandes fordern.

Unsere Versuchsresultate sind zu wenig zahlreich, um die Frage des zu verwendenden Sicherheitsgrades endgültig auszutragen. Vorläufig dürfte indessen für das *schmiedbare Construktionseisen* (Flusseisen) eine 4,0-fache Sicherheit schon aus dem Grunde ausreichen, weil die Unterschiede in der Grösse der Kantenspannungen bei einer mässigen Überschreitung der Grenze der gleichmässigen Materialinanspruchnahme belanglos sind.

f. *Werden unter Benützung der Excentricitätsformel für die gemessenen Excentricitäten n die zugehörigen theoretischen Anfangs-Excentricitäten n_0 berechnet,* so erhält man

für *die Belastung:*	$N=$	*6,0 t;*	*12,0 t;*	*18,0 t;*	*24,0 t;*	*26,0 t;*	*27,0 t;*	
aus Serie 2;								
Versuch No. 16:	$n_0=$	0,003	0,073	0,040	0,045	0,028	0,080	*cm*
» » 15:	» =	0,009	0,029	0,043	0,061	0,044	0,034	
» » 14:	» =	0,022	0,029	0,039	0,184	0,376	0,708	
» » 13:	» =	0,102	0,130	0,153	0,167	0,341	—	
» » 12:	» =	0,023	0,045	0,118	0,154	0,293	—	
» » 11:	» =	0,067	0,066	0,086	0,125	0,179	—	
» » 10:	» =	0,061	0,075	0,096	0,091	0,082	0,057	

für *die Belastung:*	$N=$	*10,0 t;*	*20,0 t;*	*30,0 t;*	*38,0 t;*	*46,0 t;*	*48,0 t;*	*50,0 t.*	
aus Serie 3;									
Versuch No. 16:	$n_0=$	0,025	0,033	0,049	0,055	0,097	0,112	0,122	*cm*
» » 15:	» =	0,053	0,102	0,134	0,185	0,217	0,242	0,219	
» » 14:	» =	0,032	0,099	0,155	0,224	0,259	0,309	0,250	
» » 13:	» =	0,008	0,017	0,051	0,053	0,100	0,140	—	
» » 12:	» =	0,032	0,069	0,089	0,115	0,187	0,178	—	

Aus vorstehenden Versuchsresultaten geht hervor, dass von einer constanten, vom Trägheitshalbmesser des Stabquerschnitts abhängigen Anfangsexcentricität geradliniger Druckstäbe, die deren schliessliche Verbiegung erklären würde, schlechterdings keine Rede sein kann. Irrtümlich ist daher auch der Befund des Hrn. Baurat *J. Kübler*, vrgl. die »*Zeitschrift für Mathematik und Physik*«, von Dr. *R. Mehmke* und Dr. *M. Cantor*, 1900, S. 313, welcher lautet:

»*Aus dem Ausdrucke* $f=i\sqrt{2}\,.\,tg\,\psi$ *geht hervor, dass zur Erklärung des Vorgangs bei der Knickung nicht nötig ist, willkürlich eine kleine Excentricität für die Druckkraft P anzunehmen, wie dies seither mit richtigem Gefühl als Notbehelf geschehen ist, sondern dass diese Excentricität stets von vorneherein schon vorhanden ist und selbst bei der sorgsamsten Fernhaltung aller Zufälligkeiten und Ungenauigkeiten den ganz bestimmten Wert von* $i\sqrt{2}$ *hat. Diese Excentricität tritt übrigens in der Stabmitte auf und nicht an den Stabenden.*«

Unsere Beobachtungen weisen unzweifelhaft darauf, dass die während der Belastung sich bildenden Excentricitäten völlig regelloser, zufälliger Natur sind, und dass durch Annahme einer bestimmten Anfangs-Excentricität eine Übereinstimmung der Rechnung und des thatsächlichen Verhaltens des prismatischen

Stabes in der Druckprobe sich im Allgemeinen nicht erzielen lässt.

g. *Wird unter Benützung der Spannungsmessungen der Knickungskoeffizient der Schwarz-Rankine'schen Formel berechnet,* so erhält man:

für *die Belastung:*

	$N=$ *6,0 t;*	*12,0 t;*	*18,0 t;*	*24,0 t;*	*26,0 t;*	*27,0 t.*
aus Serie 2; Versuch No. 16:	$\eta=$ 0,000001	0,000002	0,000002	0,000005	0,000009	0,000017
» 15:	» = » 0	» 1	» 3	» 7	» 13	» 16
» 14:	» = » 1	» 0	» 2	» 6	» 12	» 24
» 13:	» = » 3	» 4	» 6	» 20	» 44	» —
» 12:	» = » 0	» 2	» 9	» 17	» 24	» —
» 11:	» = » 1	» 2	» 5	» 13	» 25	» —
» 10:	» = » 2	» 3	» 4	» 10	» 17	» 25

für *die Belastung:*

	$N=$ *10,0 t;*	*20,0 t;*	*30,0 t;*	*38,0 t;*	*46,0 t;*	*48,0 t;*	*50,0 t.*
aus Serie 3; Versuch No. 16:	$\eta=$ 0,000001	0,000001	0,000003	0,000005	0,000014	0,000020	0,000032
» 15:	» = » 1	» 3	» 6	» 9	» 16	» 21	» 26
» 14:	» = » 1	» 1	» 2	» 14	» 25	» 32	» 39
» 13:	» = » 0	» 1	» 3	» 5	» 15	» 21	» 40
» 12:	» = » 1	» 2	» 5	» 9	» 21	» 29	» —

Vorstehende Resultate bestätigen unseren früheren Befund, wonach von einer Konstanz des Knickungskoeffizienten keine Rede sein kann. Sie weisen des bestimmtesten darauf, dass die Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel mit einem, etwa der Grenze der Tragkraft angepassten Knickungskoeffizienten für andere Belastungszustände die herrschenden Kantenspannungen auszudrücken, ausser Stande ist. Die bisherige Verwendungsart der *Schwarz-Rankine'*schen Formel ist somit eine *irrtümliche.*

3. Resultate der Untersuchung des Abhängigkeitsverhältnisses der Schwerpunktsspannung ($\sigma_s = \beta_k$) zum massgebenden Längenverhältnis prismatischer Druckstäbe.

a. Beschreibung des Versuchsmaterials.

a. Bauholz.

Material-Lieferanten: die im Vorwort genannten schweiz. Forstverwaltungen.

Den Knickungsproben lagen folgende Holzarten, nämlich die *Rottanne*, die *Weisstanne*, die *Föhre*, die *Lärche*, sowie die *Eiche* zu Grunde.

Für die Gewinnung, Formgebung und Bearbeitung des Versuchsmaterials waren zu verschiedenen Zeiten verschiedene Vorschriften gültig. Bei Entnahme des Holzes aus dem Handel konnten Vorschriften überhaupt nicht gemacht werden; es ist so viel als möglich blos der Wunsch geltend gemacht worden, möglichst astreines Holz zu erlangen.

Für den Bezug des Versuchsmaterials zu unseren ältesten Knickungsproben waren folgende Bestimmungen massgebend:

» Das zu prüfende Holz ist im Dezember aus geschlossenen, 80- bis 100-jährigen Beständen u. z. von der Molasse, dem Kalkboden, dem Thonschiefer und Granit- oder Gneissboden zu entnehmen, und nach Anleitung von Abb. 13 derart zu zerlegen, dass

1. 2 Stück Würfel von 10 *cm* Kantenlänge aus dem reifen Holz zu Seiten des Markes, nämlich No. 2 und 4, sowie ein Würfel (No. 1) aus der Stamm-Mitte; ferner
2. 4 Stück Prismen, No. 2, 3, 4 und 5 von 10 × 10 *cm* Querschnitt und je einer Länge von 50, 100, 150 und 200 *cm* gewonnen werden. Die Prismen sind ähnlich den unter 1 angeführten Würfeln aus dem reifen Holz seitlich des Markstückes (No. 1) herauszuschneiden. «

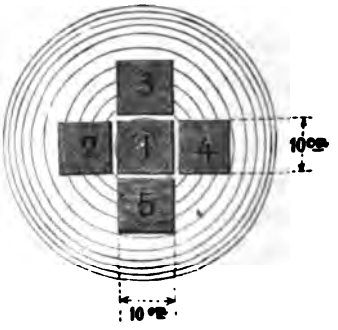


Abb. 13.

Das Material unserer Knickungsproben aus den Jahren 1888, teilweise auch 1894 und 1895 ist aus dem Handel genommen.

Die Balken erhielten ca. 16 × 16 *cm* Querschnitt bei ca. 7,0 *m* Länge und waren möglichst astrein gewählt.

Bei Bezug des Versuchsmaterials zu den, anlässlich der Landesausstellung vom Jahre 1896 abgewickelten Ergänzungsproben galten folgende Vorschriften:

»Zur Probe gelangen von der Molasse und dem Jura:

die *Rottanne*, die *Weisstanne*, die *Föhre*, und die *Eiche;*

vom Granitboden:

die *Rottanne*, die *Weisstanne*, die *Föhre*, und die *Lärche*.

Von jedem Standorte und jeder Holzgattung sind aus verschiedenen Stämmen je ein 6 *m* langer, 16 × 16 *cm* starker Balken zu entnehmen. Die Versuchsobjekte müssen die Markröhre enthalten, durchweg dem reifen Holze angehören, möglichst astrein und normalwüchsig sein. Sämtliche Balken sind nach mehrmonatlicher Lufttrocknung gerad- und scharfkantig behobelt, die Endflächen senkrecht zur Balkenaxe abgeschnitten und ebenflächig abgerichtet einzuliefern«.

β. Gusseisen.

Material-Lieferanten: Carels-frères in Gent; Halberger-Hütte in Brebach; v. Roll'sches Eisenwerk in Choindez.

Vorgeschrieben war stehender Hochofenguss; ob diese Forderung eingehalten wurde, ist nicht mit Sicherheit zu entscheiden. So viel uns bekannt, giesst die Firma der Herren *Carels-frères* in Gent überhaupt nur aus dem Kupolofen. Das v. Roll'sche Eisenwerk Choindez giesst aus dem Hochofen; desgleichen die Halberger-Hütte der Herren R. Böcking & Comp. in Brebach.

Die Rohre konnten in beliebigen Längen gegossen, die kürzern durch Abstechen auf der Drehbank aus längern gewonnen werden. Zu liefern waren für jede Gusseisenart 3 Serien, nämlich:

I. Serie.

2	Stück	Rohrabschnitte	von	10	cm	innerer	Durchmesser,	0,8	cm	Wandstärke,	20	cm Länge
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	»	50	» »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	»	100	» »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	»	150	» »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	»	200	» »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	»	250	» »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	»	300	» »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	»	350	» »
2	»	»	»	10	»	»	»	0,8	»	»	400	» »

II. Serie:

2	Stück	Rohrabschnitte	von	12	cm	innerer	Durchmesser,	0,8	cm	Wandstärke,	20	cm Länge
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	»	50	» »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	»	100	» »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	»	150	» »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	»	200	» »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	»	250	» »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	»	300	» »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	»	350	» »
2	»	»	»	12	»	»	»	0,8	»	»	400	» »

III. Serie:

2	Stück	Rohrabschnitte	von	15	cm	innerer	Durchmesser,	0,8	cm	Wandstärke,	20	cm Länge
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	50	» »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	100	» »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	150	» »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	200	» »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	250	» »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	300	» »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	350	» »
2	»	»	»	15	»	»	»	0,8	»	»	400	» »

Sämtliche Rohrabschnitte wurden auf Drehbänke gespannt, und auf die gewünschte Länge ebenflächig und ⊥ zur Rohraxe abgeschnitten. Eine Nachappretur der Endfläche war durchwegs entbehrlich.

γ. Schmiedbares Eisen.

Material-Lieferant: HH. Petit-fils de F. de Wendel & Comp. in Hayange.

1. Rundeisen.

Geliefert wurden 20 Stück Schweiss- und 20 Stück Flusseisen-Rundstäbe mit

2,00, 2,50, 3,00, 3,50, 4,00, 4,50 und 5,00 *cm* Dicke
in Längen von 10 bis 120 *cm*.
Total: 40 Einzelversuche.

Diese Rundstäbe wurden auf beziehungsweise

1,78, 2,28 2,78 3,28 3,77 4,28 und 4,79 *cm* Dicke

abgedreht und exakt ⊥ zur Stabaxe abgestochen.

2. Winkeleisen.

Einfaches Winkeleisen; deutsches Normal-Profil No. 10ª mit 14,8 *kg* Gewicht pro *l. m.*

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.

⌶ Doppel-Winkeleisen; deutsches Normal-Profil No. 8ª mit 9,5 *kg* Gewicht pro *l. m.*

Geliefert wurden zusammen 22 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.

Kreuzprofil aus 4 Winkeleisen; deutsches Normal-Profil No. 6ª mit 5,3 *kg* Gewicht pro *l. m.*

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.

Total: 70 Einzelversuche.

3. T-Eisen.

Breitfüssiges T-Eisen; deutsches Normal-Profil No. 12 : 6 mit 13,8 *kg* Gewicht pro *l. m.*

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0 und 5,0.

Kreuzprofil aus 2 T-Eisen; deutsches Normal-Profil No. 9 : 4½ mit 7,9 *kg* Gewicht pro *l. m.*

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 0,60, 0,90, 1,20, 1,80, 2,40 und 3,00.

Total: 48 Einzelversuche.

4. U-Eisen.

Deutsches Normal-Profil No. 14 mit 15,9 *kg* Gewicht pro *l. m.*

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 0,80, 1,20, 1,60, 2,40, 3,20 und 4,00.

⊐⊏ Doppel-U-Eisen; deutsches Normal-Profil No. 8 mit 8,6 *kg* Gewicht pro *l. m.*

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 0,80, 1,20, 1,60, 2,40, 3,20 und 4,00.
Total: 48 Einzelversuche.

5. ⌶-Eisen.

Deutsches Normal-Profil No. 18 mit 21,9 *kg* Gewicht pro *l. m.*

Geliefert wurden zusammen 24 Abschnitte und zwar je 2 Stück in Fluss- und Schweisseisen und in Längen von:
m 0,50, 0,75, 1,00, 1,50, 2,00 und 2,50.
Total: 24 Einzelversuche.

Material-Lieferant: Burbacher-Hütte bei Malstatt.

1. Winkeleisen.

Einfaches Winkeleisen; deutsches Normal-Profil No. 10.

Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 80 bis einschl. 400 *cm.*

⌊⌊ Doppel-Winkeleisen; zusammengenietet aus deutschen Normal-Profilen No. 8.

Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 100 bis einschl. 500 *cm.*

⌗ Kreuzprofil aus 4 Winkeleisen; zusammengenietet aus deutschen Normal-Profilen No. 6ª.

Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 100 bis einschl. 500 *cm.*

2. T-Eisen.

Breitfüssiges T-Eisen; Burbacher Profil No. 27.

Geliefert wurden 11 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 90 bis einschl. 430 *cm.*

╪ Kreuzprofil aus 2 T-Eisen; zusammengenietet aus Burbacher Profilen No. 16.

Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 100 bis einschl. 439 *cm.*

3. U-Eisen.

Deutsches Normal-Profil No. 14 mit 15,9 *kg* Gewicht pro *l. m.*
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 80 bis einschl. 400 *cm.*

⊐⊏ Doppel-U-Eisen; zusammengenietet aus 2 U-Eisen, deutsche Normal-Profile No. 8.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 80 bis einschl. 400 *cm.*

4. ⊥-Eisen.

Deutsches Normal-Profil No. 12.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 50 bis einschl. 250 *cm.*

Deutsches Normal-Profil No. 17.
Geliefert wurden 12 Abschnitte, Schweisseisen, in Längen von 80 bis einschl. 400 *cm.*

Material-Lieferant: Eisenwerk Kaiserslautern.

Breitfüssiges T-Eisen; Burbacher Profil No. 24; Schweisseisen, 1 Stab von 560 *cm* Länge.

U-Eisen; Schweisseisen, 1 Stab von 560 *cm* Länge.

⌋⌊ Doppel-Winkeleisen; Schweisseisen, zusammengenietet; 1 Stab von 560 *cm* Länge.

Sämtliche Stäbe der Kategorie »schmiedbares Eisen« wurden gerade gerichtet, die Endflächen senkrecht zur Stabaxe abgeschnitten und abgeschliffen, so dass eine tadellose Anlagerung derselben an die Druckflächen der Festigkeitsmaschine erreicht wurde.

b. Einspannung der Probekörper und Art der Versuchsausführung.

a. Bauholz.

Versuche aus dem Jahre 1883.

Anlässlich der Durchführung der Arbeiten für die schweiz. Landesausstellung vom Jahre 1883 bestand die Absicht, die Druckversuche an Holzprismen mit mehr als 50 *cm* Länge mit einer Aufnahme der Grösse und Richtung der Durchbiegung

in der Prismenmitte zu verbinden. Vorversuche haben indessen darüber belehrt, dass selbst bei gleichem Materiale und gleicher Prismenlänge die Grösse und Richtung der Formänderung von Zufälligkeiten, in erster Linie von der Beschaffenheit, Anzahl und Anordnung der Astknoten abhängig sei und selbst bei astreinem Holz die Grösse der Durchbiegung sich nicht proportional der Belastung ändere. In Anbetracht dieser Umstände wurde auf die Aufnahme der Formänderung verzichtet und wir beschränkten die Arbeit auf die Ermittlung der Grösse der Abnahme der Druckfestigkeit (Würfelfestigkeit) des Holzes bei wachsender Prismenlänge.

Ähnlich den Prismen zur Erhebung der Elasticitäts-Koeffizienten des Holzes auf Druck, wurden auch die den Knickungsproben unterworfenen Prismen armiert, d. h. auf die Druckflächen der Prismen wurden centrisch ca. 1,8 *cm* starke, ebene Schmiedeisenplatten aufgeschraubt, die in napfartigen Höhlungen der gusseisernen, auf die Druckplatten der Festigkeitsmaschine aufgeschraubten Aufsätze passten. Jedes derart armierte Prüfungsobjekt in die Maschine gehängt, ist zunächst auf 5 *t* belastet worden; hierauf wurden die Stellschrauben der Druckplatten satt, d. h. derart angezogen, dass eine Bewegung der Lagerflächen während des Versuches ausgeschlossen war und nun ist allmälig steigernd solange Druck ausgeübt worden, bis entweder eine Durchbiegung oder Materialzerstörung durch lokale Ineinanderpressung der Fasern mit oder ohne vorangegangener Durchbiegung eingetreten ist.

Sämtliche Versuche wurden auf der Werder'schen Festigkeitsmaschine ausgeführt. Protokolliert wurde die Grösse der Knickungskraft, die allgemeine Form des deformierten Balkens; in besondern Fällen die Richtung der Durchbiegung bezw. auch die Lage jener Querschnitte, in welchen Ineinanderpressen der Fasern stattgefunden hat.

Versuche aus den Jahren 1888, 1894 und 1895.

Die versuchsgerecht hergerichteten Balken wurden ohne Armierung ihrer Endflächen in der Axe der Festigkeitsmaschine gehängt. Die Druckplatten der Maschine gewährten entweder freie Beweglichkeit der Balkenenden oder sie konnten vermittelst 4 kräftigen Stellschrauben fixiert werden, so dass eine

Tangentenänderung der Axe der Balkenenden während der Versuchsausführung ausgeschlossen blieb.

Abb. 14 stellt die Spannvorrichtung mit freier Beweglichkeit der Balkenenden, die s. g. Spitzenlagerung, dar. Wie die Erfahrung lehrt, arbeiten diese Spitzenlager nahezu vollkommen beweglich; sie arbeiten derart korrekt, dass eine Übereinstimmung der Versuchsresultate mit den Ergebnissen der Rechnung nach Euler's Formel erst dann erzielt wurde, als für die freie Knickungslänge der Prismen

$$l = l_0 + 2a$$

eingeführt wurde.

Sämtliche Prismen von mehr als 2,0 *m* Länge wurden in der Regel in den Dritteln unter Anwendung eines Gegengewichtes von zusammen $^4/_5$ des Balkengewichtes ausbalanciert. Bei der Versuchsreihe vom Jahre 1894 und 95 wurden sämtliche

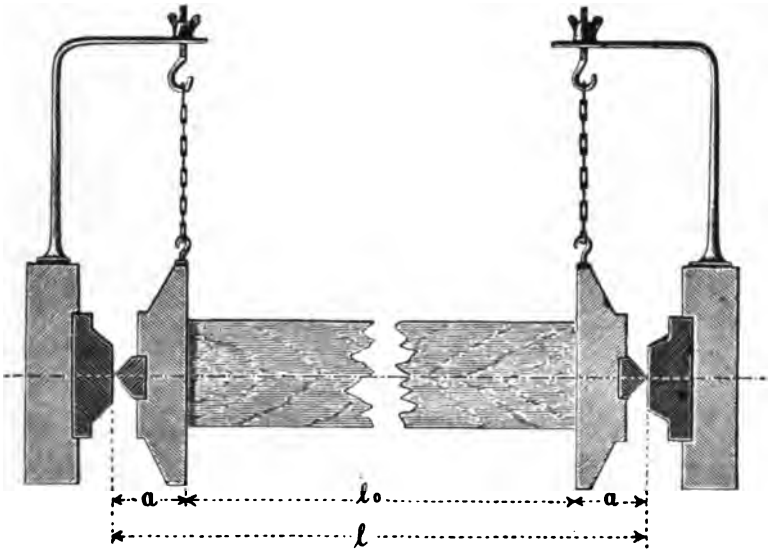


Abb. 14.

Balken von unter 2,0 *m* Länge in der Mitte aufgehängt und mit ca. $^3/_4$ des Balkengewichts ausbalanciert. Auf diese Art wurde das Biegungsmoment des Eigengewichtes der Prismen aufgehoben. Ursprünglich benutzten wir leichte Flaschenzugketten, später dünne Seile, die einerseits an geeigneten Bügeln, welche die Balken trugen, befestigt wurden, über Rollen liefen und anderseits Gewichtsschalen trugen.

Vor dem Einlegen der Versuchsobjekte in die Maschinen wurde deren Oberflächenbeschaffenheit festgestellt; sie wurden sodann gewogen, gemessen und die Güte der Appretur, namentlich jene der Endflächen, kontrolliert. Hierauf wurden die Balken in die Axe der Maschine eingelegt, ausbalanciert und die Lage derselben mittelst Libelle verifiziert.

Um ein Bild über den Verlauf und die Vorgänge während der Versuchsausführung zu gewinnen, wurde bei Balken von über 2,0 *m* Länge die Lagenänderung der Stabmitte nach 2 senkrecht zu einander stehenden Richtungen für jede Laststufe erhoben und protokolliert. Belastet wurde je nach Balkenlänge und Art der Einspannung verschieden. Anfänglich wurden Laststufen von grösseren Intervallen gewählt; gegen das Ende des Versuches reduzierten sich diese auf 0,250 bis 0,125 *t*. Auf eine bestimmte Dauer der Einwirkung der Last wurde nur dann Rücksicht genommen, wenn Messungen der Formveränderungen vorgenommen wurden. In solchen Fällen wurde die Last 15 Sek. lang am Stabe belassen, die Lagenänderung der Mitte der Stabaxe in horizontalem und vertikalem Sinne abgelesen und nun unverzüglich weiter belastet.

Das Verhalten der Balken in der Maschine war ein ausserordentlich wechselndes. Oft stand der Balken bis zur Grenze seiner Tragkraft fast unbeweglich und verlor dieselbe sodann plötzlich. In den meisten Fällen stellte sich bei langen, seltener bei kurzen Stäben schon bei einer relativ geringfügigen Anstrengung, eine dem unbewaffneten Auge merkliche Formänderung ein, welche sodann gegen das Ende progressiv wuchs. Die Richtung der Durchbiegung wechselte derart, dass nichts allgemein Gültiges gesagt werden kann. Hier spielen die Astknoten, Schwindrisse, die zufällige Lage der Markröhre zur Druckrichtung, bezw. zur Maschinenaxe, die Unhomogenitäten bedingt durch Wuchsverhältnisse des Holzes eine ausschlaggebende Rolle. Die meisten Balken hatten, wie erwähnt, angenähert quadratischen Querschnitt und fiel deren Biegungsrichtung in die Richtung der Diagonalebene oder deren Nähe. Selten ist vorgekommen, dass sich das Holz ausschliesslich in horizontaler oder vertikaler Richtung, also senkrecht zu den Begrenzungsflächen durchgebogen hat.

Balken mit einem massgebenden Längenverhältnis ($l : k$) grösser als 100 trugen den Charakter vorwiegend elastischer

Körper, d. h. die Formänderung ist nach Entfernung der Belastung der Hauptsache nach wieder verschwunden. Die kurzen Balken trugen dagegen den Charakter vorwiegend unelastischer Körper; sie sind der Hauptsache nach unter der Erscheinung des Ineinanderpressens der Fasern geknickt; selten sind Aufspaltungen oder eigentliche Querbrüche vorgekommen.

β. Gusseisen.

Ähnlich dem Arbeitsvorgange bei Durchführung der neuen Knickungsversuche mit Bauhölzern war jener bei Ausführung der Knickungsproben mit den gusseisernen Rohrabschnitten organisiert. Die versuchsgerecht hergerichteten Rohrabschnitte wurden zunächst gewogen, ausgemessen und ohne Armierung ihrer Endflächen in die Axe der Festigkeitsmaschine gehängt.

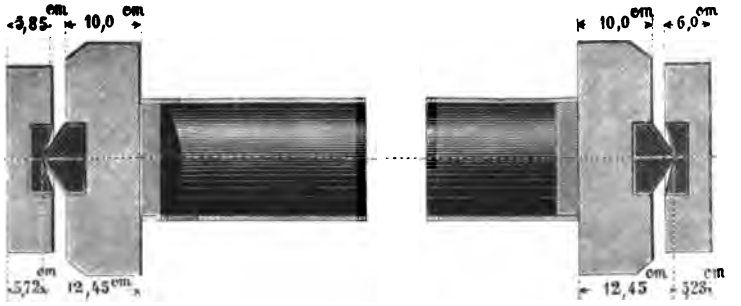


Abb. 15.

Die Konstruktion der Druckplatten geht aus Abb. 15 hervor. Man sieht die mit Spitzenkörnern ausgerüsteten, beweglichen Druckplatten trugen auswechselbare, centrisch aufgeschraubte, cylindrische Ansätze, deren Durchmesser mit etwas Spiel der inneren Weite der Probekörper der Versuchsreihen angepasst waren. Da der Durchmesser der cylindrischen Ansätze der Druckplatten mit der innern Rohrweite nicht immer befriedigend übereinstimmte, mussten die Probekörper den Rohrwandstärken und den zufälligen Spielräumen entsprechend, mit Papier oder Holzspähnen unterlegt, in die Maschine gehängt werden. Auf diese Weise war eine centrische Lage der Rohrenden in der Maschine erreicht. Dass trotz diesen Vorsichtsmassregeln die

Axe der Rohrabschnitte nicht immer vollkommen befriedigend in die Maschinenaxe fiel, ist selbstredend.

Das Biegungsmoment des Eigengewichtes der Rohrabschnitte von 2,0 und mehr Meter Länge wurde ähnlich wie beim Holze durch angehängte Gewichte aufgehoben.

Um ein Bild über den Verlauf der Biegungserscheinungen während der Versuchsausführung zu gewinnen, wurden bei Rohrabschnitten von 2,0 und mehr Meter Länge die Lagenänderungen der Stabmitte nach 2 ⊥ zu einander stehenden Richtungen für einzelne Laststufen erhoben und protokolliert. Wegen der Unzugänglichkeit der Probekörper in der Maschine, — dieselben mussten aus Vorsichtsgründen mit starken Holzbohlen umkleidet werden — wurden in einiger Entfernung vom Versuchsobjekte, nach Anleitung der Abb. 16, Gradbogen montiert, welche vermittelst gut gespannter Schnüre die Bewegungen der Rohrmitte zu verfolgen gestatteten.

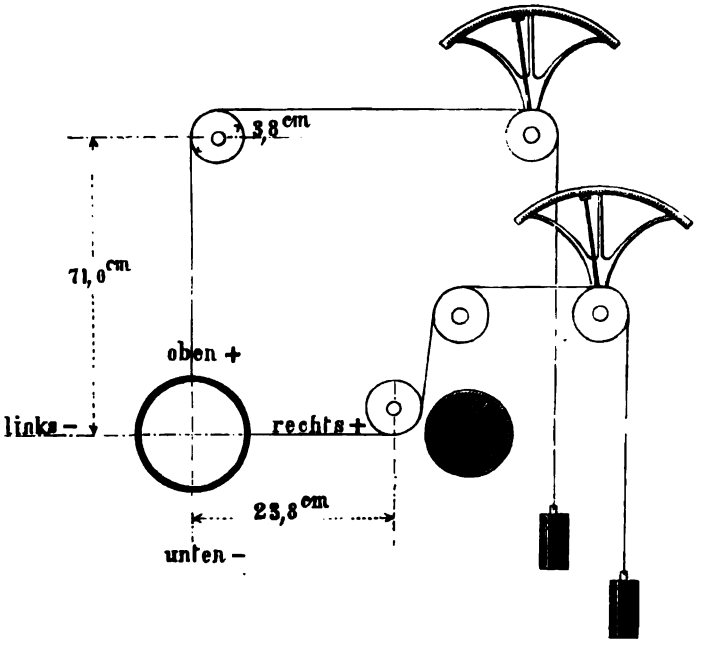


Abb. 16.

Zur Anwendung kam die grosse *Kirkaldy*-Maschine der belgischen Staatsbahnen im Arsenal zu Malines. Der Druck

wurde hydraulisch mittelst der kontinuierlich wirkenden Pumpe der Maschine bewirkt. Auf eine bestimmte Dauer der Einwirkung der Last konnte nicht Rücksicht genommen werden. Es wurde, so oft die gewählte Laststufe erreicht war, abgelesen und unverzüglich weiter belastet.

Das Verhalten der Probekörper in der Maschine war nur in sofern ein verschiedenartiges, als die Rohrabschnitte unter 1,5 *m* Länge fast keine Verbiegungen erlitten und plötzlich unter heftiger Detonation in kleine Scherben zerfielen. Die langen Rohrabschnitte verbogen sich und brachen auf der gespannten Seite, unter Ablösung von Scherben, die oft das mittlere Drittel der Rohrabschnitte umfassten. Die Richtung der Verbiegung wechselte regellos; sie war offenbar durch die Excentricitätsverhältnisse des Kraftangriffs in den mittleren Rohrquerschnitten bedingt.

γ. Schmiedbares Eisen.

Einrichtungen und der allgemeine Arbeitsvorgang bei Durchführung der Knickungsversuche mit Stäben in schmiedbarem Eisen entsprechen bis auf die Messung der Lagenänderungen der Stabmitten bei den unterschiedlichen Laststufen, denjenigen der Bauhölzer und der Abschnitte der gusseisernen Röhren.

Zu sämtlichen Knickungsproben diente die *Werder*'sche Festigkeitsmaschine. Ihre in Kugelschalen spielenden Druckplatten wurden vertikal gestellt und fixiert. Sie trugen centrisch befestigt, gusseiserne Platten, in deren Mitte den in Abb. 15 dargestellten ähnliche, gehärtete, stählerne, napfartig gehöhlte Cylinder eingelassen waren. Letztere bildeten die Lagerschalen der konischen, ebenfalls gehärteten Stahlspitzen, die auf der Mitte der Rückseiten der Druckplatten montiert wurden. Die Conicität dieser Stahlkegel betrug 114°; die äusserste Spitze derselben war abgerundet.

Die Versuchsstäbe wurden centrisch und horizontal in die Maschine eingelegt. Die kurzen Stäbe waren in der Mitte, die langen in den Dritteln mittelst Seilchen gefasst, welche über Rollen liefen und an ihren freien Enden Wagschalen trugen. Durch Belastung dieser Schalen konnte Fall für Fall das Biegungsmoment des Eigengewichtes des Probestabes, ähnlich wie dies bei den Holz- und Gussproben geschah, aufgehoben

werden. Die Belastung geschah anfänglich je nach Länge und Querschnittsgrösse des Stabes durch Auflegen von 5,0 bis 1,0 *t*; gegen das Ende des Versuchs wurde das Gewicht auf 0,250 bis 0,125 *t* abgemindert. Belastet wurde so oft die Libelle des Werder'schen Wagebalkens einspielte. Eine bestimmte Dauer der Krafteinwirkung konnte nicht eingehalten werden. Die in nachstehenden Zusammenstellungen eingetragenen Biegungsrichtungen entsprechen den Erhebungen durch Visur längs den geknickten Stäben.

c. Resultate der Knickungsproben.

a. Bauholz.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
Knickungsversuche aus dem Jahre 1883.													
Flächenlagerung.													
1	Föhre	200,2	100,1	10,4	10,0	104,0	2,89	34,6	17,1	19,25	0,185		
2	»	200,1	100,1	9,9	10,0	99,0	2,86	35,0	c. 25,0	21,50	0,217		
							Mittel	34,8	21,1	20,38	0,201	—	0,225
3	Föhre	150,2	75,1	10,4	9,9	103,0	2,86	26,3	17,1	18,50	0,180		
4	»	156,1	75,1	10,1	10,1	102,0	2,92	25,7	c. 25,0	22,50	0,221		
							Mittel	26,0	21,1	20,50	0,201	—	0,243
5	Föhre	100,1	50,1	10,3	10,1	104,0	2,92	17,2	17,1	19,00	0,183		
6	»	100,1	50,1	10,0	10,0	100,0	2,89	17,3	c. 25,0	21,00	0,210		
							Mittel	17,3	21,1	20,00	0,197	—	0,259
7	Föhre	50,0	25,0	9,2	9,4	86,5	2,66	9,4	17,1	21,75	0,251		
8	»	50,0	25,0	10,2	10,1	103,0	2,92	8,6	c. 25,0	21,25	0,206		
							Mittel	9,0	21,1	21,50	0,229	—	0,276
9	Lärche	200,0	100,0	9,8	10,0	98,0	2,83	35,3	11,5	24,75	0,252		
10	»	199,8	99,9	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	18,9	27,00	0,278		
11	»	200,0	100,0	9,8	10,1	99,0	2,83	35,3	c. 25,0	24,25	0,245		
12	»	199,1	99,6	10,0	10,3	103,0	2,89	34,5	15,7	26,00	0,252		
13	»	198,7	99,4	10,3	10,0	103,0	2,89	34,4	16,0	25,50	0,248		
							Mittel	35,0	21,4	25,50	0,255	—	0,225
14	Lärche	149,7	74,9	9,8	10,0	98,0	2,83	26,5	11,5	26,25	0,268		
15	»	150,0	75,0	10,0	9,9	99,0	2,86	26,2	18,9	27,13	0,274		
16	»	150,1	75,1	9,9	9,9	98,0	2,86	26,3	c. 25,0	26,50	0,270		
17	»	149,6	74,8	10,2	10,2	104,0	2,95	25,4	15,7	21,00	0,202		
18	»	149,9	75,0	10,1	9,9	100,0	2,86	26,2	16,0	22,75	0,228		
							Mittel	26,1	21,4	24,72	0,248	—	0,242
19	Lärche	99,9	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	11,5	31,25	0,319		
20	»	99,7	49,9	10,0	9,9	99,0	2,86	17,4	18,9	24,75	0,250		
21	»	100,1	50,1	10,0	9,9	99,0	2,86	17,5	c. 25,0	26,83	0,271		
22	»	100,1	50,1	10,2	9,9	101,0	2,86	17,5	15,7	25,75	0,255		
23	»	99,6	49,8	10,0	10,2	102,0	2,89	17,2	16,0	26,25	0,257		
							Mittel	17,4	21,4	26,96	0,270	—	0,259

Lauf. No.	Holzgattung	Urspr. Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
24	Lärche	50,0	25,0	9,9	9,9	98,0	2,86	8,7	11,5	37,50	0,383		
25	»	49,9	25,0	9,9	9,9	98,0	2,86	8,7	18,9	34,50	0,352		
26	»	50,0	25,0	9,9	9,9	98,0	2,86	8,7	c. 25,0	25,75	0,263		
27	»	49,7	24,9	10,1	9,9	100,0	2,86	8,7	15,7	27,00	0,270		
28	»	49,4	24,7	9,9	9,7	96,0	2,80	8,8	16,0	28,00	0,292		
							Mittel	8,7	17,4	30,55	0,312	—	0,276
29	Rottanne	199,8	99,9	9,9	9,6	95,0	2,77	36,1	12,7	19,50	0,205		
30	»	200,2	100,1	9,9	9,7	96,0	2,80	35,8	11,4	22,50	0,234		
31	»	200,4	100,2	9,9	9,6	95,0	2,77	36,2	?	23,50	0,247		
32	»	199,5	99,8	10,1	10,1	102,0	2,92	34,2	12,8	21,00	0,206		
33	»	194,2	97,1	9,8	9,9	97,0	2,83	34,3	13,6	21,25	0,219		
34	»	199,5	99,8	9,9	9,7	96,0	2,80	35,6	15,0	18,00	0,187		
35	»	199,7	99,9	9,7	9,9	96,0	2,80	35,7	14,3	15,25	0,159		
36	»	199,6	99,8	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	14,2	16,75	0,173		
37	»	199,3	99,7	10,0	10,1	101,0	2,89	34,5	14,4	18,25	0,181		
38	»	198,0	99,0	10,0	10,0	100,0	2,89	34,3	15,2	19,25	0,193		
39	»	199,0	99,5	9,7	10,1	98,0	2,80	35,5	20,0	24,50	0,250		
							Mittel	35,2	14,3	19,96	0,205	—	0,225
40	Rottanne	150,2	75,1	9,9	9,7	96,0	2,80	26,8	12,7	21,25	0,221		
41	»	149,8	74,9	9,9	9,7	96,0	2,80	26,8	11,4	28,50	0,297		
42	»	150,0	75,0	10,0	9,8	98,0	2,83	26,5	?	24,75	0,253		
43	»	149,7	74,9	9,9	9,8	97,0	2,83	26,5	12,8	24,25	0,250		
44	»	149,7	74,9	9,9	9,7	96,0	2,80	26,8	13,6	21,25	0,221		
45	»	149,2	74,6	9,7	9,9	96,0	2,80	26,6	15,0	16,50	0,172		
46	»	149,7	74,9	10,0	9,8	98,0	2,83	26,5	14,3	17,50	0,179		
47	»	150,0	75,0	9,9	9,6	95,0	2,77	27,1	14,2	16,75	0,176		
48	»	149,0	74,5	10,2	10,3	105,1	2,95	25,3	14,4	19,00	0,181		
49	»	149,4	74,7	10,0	10,2	102,0	2,89	25,8	15,2	18,00	0,176		
50	»	149,9	75,0	10,3	9,7	99,9	2,80	26,8	20,0	25,50	0,255		
							Mittel	26,5	14,4	21,20	0,218	—	0,242
51	Rottanne	99,9	50,0	9,9	9,8	97,0	2,83	17,7	12,7	23,75	0,245		
52	»	100,2	50,1	9,9	9,6	95,0	2,77	18,1	11,4	27,25	0,287		
53	»	100,0	50,0	9,9	10,0	99,0	2,86	17,5	?	25,00	0,253		
54	»	99,8	49,9	10,2	10,0	102,0	2,89	17,3	12,8	27,75	0,272		
55	»	100,0	50,0	9,7	9,8	95,1	2,80	17,9	13,6	22,50	0,236		
56	»	99,5	49,8	9,8	9,9	97,0	2,83	17,6	15,0	17,50	0,180		

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
57	Rottanne	99,6	49,8	9,6	10,0	96,0	2,77	18,0	14,3	17,50	0,182		
58	»	99,9	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	14,2	16,75	0,171		
59	»	100,0	50,0	9,9	9,8	97,0	2,83	17,7	14,4	20,00	0,206		
60	»	100,0	50,0	10,1	10,1	102,0	2,92	17,1	15,2	15,50	0,152		
61	»	100,1	50,1	10,1	9,9	100,0	2,86	17,5	20,0	21,50	0,215		
							Mittel	17,6	14,4	21,36	0,218	—	0,259
62	Rottanne	50,1	25,1	9,8	9,7	95,1	2,80	9,0	12,7	27,50	0,289		
63	»	50,1	25,1	9,6	9,8	94,1	2,77	9,1	11,4	36,00	0,383		
64	»	50,0	25,0	9,8	10,0	98,0	2,83	8,8	?	26,00	0,265		
65	»	49,6	24,8	9,9	9,7	96,0	2,80	8,9	12,8	37,25	0,388		
66	»	49,9	25,0	9,6	9,9	95,0	2,77	9,0	13,6	30,75	0,323		
67	»	49,7	24,9	9,6	9,9	95,0	2,77	9,0	15,0	22,50	0,237		
68	»	49,8	24,9	9,7	9,9	96,0	2,80	8,9	14,3	26,25	0,273		
69	»	50,0	25,0	9,7	9,9	96,0	2,80	8,9	14,2	19,00	0,198		
70	»	49,8	24,9	8,8	10,0	88,0	2,54	9,8	14,4	23,00	0,261		
71	»	49,4	24,7	9,9	9,8	97,0	2,83	8,7	15,2	26,50	0,273		
72	»	50,0	25,0	9,7	10,0	97,0	2,80	8,9	20,0	27,75	0,286		
							Mittel	9,0	14,4	27,50	0,289	—	0,276
73	Weisstanne	200,0	100,0	9,9	9,8	97,0	2,83	35,3	12,4	25,75	0,266		
74	»	200,2	100,1	9,9	9,8	97,0	2,83	35,4	14,9	26,00	0,268		
75	»	200,0	100,0	9,9	10,0	99,0	2,86	35,0	?	17,50	0,177		
76	»	199,8	99,9	10,6	10,2	108,1	2,95	33,9	11,9	25,00	0,231		
77	»	200,0	100,0	10,2	10,5	107,1	2,95	33,9	12,7	24,00	0,224		
78	»	200,0	100,0	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	13,2	18,75	0,193		
79	»	199,7	99,9	9,9	9,9	98,0	2,86	34,9	12,5	21,50	0,219		
80	»	199,5	99,8	9,9	9,8	97,0	2,83	35,3	13,8	17,75	0,183		
81	»	199,9	99,9	9,8	9,9	97,0	2,83	35,3	13,2	23,25	0,240		
							Mittel	34,9	13,1	22,17	0,222	—	0,225
82	Weisstanne	150,1	75,1	9,9	10,0	99,0	2,86	36,3	12,4	25,75	0,260		
83	»	150,0	75,0	9,9	9,8	97,0	2,83	26,5	14,9	25,00	0,258		
84	»	149,8	74,9	10,0	9,9	99,0	2,86	26,2	?	17,75	0,179		
85	»	150,0	75,0	10,1	10,0	101,0	2,89	26,0	11,9	21,75	0,215		
86	»	150,0	75,0	10,2	10,5	107,1	2,95	25,4	12,7	23,25	0,217		
87	»	149,9	75,0	9,9	10,0	99,0	2,86	26,2	13,2	18,25	0,184		
88	»	149,9	75,0	9,8	9,9	97,0	2,83	26,5	12,5	20,75	0,214		

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
89	Weisstanne	149,9	75,0	9,9	9,9	98,0	2,86	26,2	13,8	19,25	0,196		
90	»	150,0	75,0	9,8	9,9	97,0	2,83	26,5	13,2	23,50	0,242		
							Mittel	26,2	13,1	21,00	0,211	—	0,242
91	Weisstanne	99,7	49,9	9,9	9,8	97,0	2,83	17,6	12,4	24,50	0,253		
92	»	100,0	50,0	9,9	9,8	97,0	2,83	17,7	14,9	24,50	0,253		
93	»	100,0	50,0	9,9	10,0	99,0	2,86	17,5	?	18,70	0,189		
94	»	100,3	50,2	10,3	10,4	107,1	2,98	16,8	11,9	24,50	0,229		
95	»	100,0	50,0	10,1	10,0	101,0	2,89	17,3	12,7	24,00	0,238		
96	»	100,0	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	13,2	19,25	0,196		
97	»	99,7	49,9	9,8	9,9	97,0	2,83	17,6	12,5	22,25	0,229		
98	»	99,8	49,9	9,8	9,9	97,0	2,83	17,6	13,8	18,25	0,188		
99	»	99,9	50,0	9,9	9,9	98,0	2,86	17,5	13,2	20,75	0,212		
							Mittel	17,5	13,1	21,86	0,221	—	0,279
100	Weisstanne	50,1	25,1	9,9	9,7	96,0	2,80	9,0	12,4	34,50	0,359		
101	»	50,0	25,4	9,9	9,7	96,0	2,80	9,1	14,9	30,00	0,312		
102	»	50,0	25,0	9,9	10,0	99,0	2,86	8,7	?	18,00	0,182		
103	»	49,8	24,9	9,9	10,2	101,0	2,86	8,7	11,9	30,50	0,302		
104	»	49,4	24,7	10,1	10,1	102,0	2,92	8,5	12,7	31,00	0,304		
105	»	50,2	25,1	9,8	10,0	98,0	2,83	8,9	13,2	25,40	0,259		
106	»	49,8	24,9	9,9	9,7	96,0	2,80	8,9	12,5	24,75	0,258		
107	»	49,6	24,8	9,8	9,9	97,0	2,83	8,8	13,8	26,25	0,270		
108	»	50,0	25,0	9,9	9,8	97,0	2,83	8,8	13,2	28,25	0,291		
							Mittel	8,8	13,1	27,63	0,282	—	0,276
109	Eiche	199,8	99,9	10,0	10,0	100,0	2,89	34,6	22,5	27,75	0,278		
110	»	198,2	99,1	10,1	10,6	107,1	2,92	33,9	24,7	27,25	0,254		
							Mittel	34,3	23,6	27,50	0,266	—	0,228
111	Eiche	150,1	75,1	9,9	9,9	98,0	2,86	26,3	22,5	27,50	0,281		
112	»	148,3	74,2	9,8	9,6	94,1	2,77	26,8	24,7	26,75	0,284		
							Mittel	26,6	23,6	27,13	0,283	—	0,241
113	Eiche	100,0	50,0	10,0	9,9	99,0	2,86	17,5	22,5	27,50	0,278		
114	»	99,3	49,7	10,1	10,7	108,1	2,92	17,0	24,7	26,75	0,247		
							Mittel	17,3	23,6	27,13	0,263	—	0,259
115	Eiche	50,0	25,0	10,0	10,0	100,0	0,289	8,7	22,5	33,75	0,338		
116	»	49,4	24,7	10,1	10,4	105,0	0,292	8,5	24,7	33,50	0,319		
							Mittel	8,6	23,6	33,63	0,329	—	0,276

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
Knickungsversuche aus dem Jahre 1888.													
1. Serie: *Spitzenlagerung.*													
117	Föhre	725,0	743,0	14,31	13,75	196,8	3,97	187,2	17,6*)	6,10	0,031		
118	»	725,0	743,0	13,40	13,40	179,6	3,87	192,0	17,6	5,00	0,028		
							Mittel	189,6	17,6	5,55	0,030	0,027	—
119	Föhre	600,0	618,0	14,35	13,75	197,3	3,97	155,7	17,6	8,25	0,042	0,041	—
120	»	500,0	518,0	13,48	13,47	181,6	3,89	133,2	17,6	11,00	0,061	0,056	—
121	»	400,0	418,0	13,45	13,40	180,2	3,87	108,0	17,6	17,25	0,096	0,085	—
122	Föhre	300,0	318,0	13,38	13,36	178,8	3,86	82,4	17,6	25,50	0,143		
123	»	300,0	318,0	13,24	12,88	170,5	3,72	85,5	17,6	22,80	0,134		
							Mittel	84,0	17,6	24,15	0,139	—	0,130
124	Föhre	200,0	218,0	13,46	13,40	180,4	3,87	56,3	17,6	36,00	0,200		
125	»	200,0	218,0	13,31	12,83	170,8	3,71	58,8	17,6	34,50	0,202		
126	»	200,0	218,0	14,70	13,40	197,0	3,87	56,3	17,6	37,40	0,190		
							Mittel	57,1	17,6	35,97	0,197	—	0,182
127	Föhre	120,0	138,0	14,40	13,80	198,7	3,99	34,6	17,6	43,50	0,219		
128	»	120,0	138,0	14,70	13,35	196,2	3,86	35,8	17,6	42,50	0,217		
							Mittel	35,2	17,6	43,00	0,218	—	0,225
129	Föhre	100,0	118,0	13,35	12,85	171,5	3,71	31,8	17,6	40,80	0,238		
130	»	100,0	118,0	13,22	12,84	169,7	3,71	31,8	17,6	44,00	0,259		
							Mittel	31,8	17,6	42,40	0,249	—	0,231
131	Föhre	50,0	68,0	13,42	12,86	172,6	3,72	18,3	17,6	49,00	0,284		
132	»	50,0	68,0	14,65	13,35	195,6	3,86	17,6	17,6	60,00	0,307		
							Mittel	18,0	17,6	54,50	0,296	—	0,258
133	Föhre	20,0	38,0	14,30	13,80	197,3	3,99	9,5	17,6	52,00	0,264		
134	»	20,0	38,0	13,50	13,43	181,3	3,88	9,8	17,6	58,70	0,324		
135	»	20,0	38,0	13,33	12,84	171,2	3,71	10,2	17,6	60,00	0,350		
							Mittel	9,8	17,6	56,90	0,313	—	0,274

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
136	Lärche	725,0	743,0	13,68	13,48	184,4	3,90	190,5	17,6*)	5,60	0,030	0,027	–
137	»	600,0	618,0	13,75	13,60	187,0	3,93	157,3	17,6	7,40	0,040	0,040	–
138	»	500,0	518,0	13,43	13,35	179,3	3,86	134,2	17,6	9,90	0,055	0,055	–
139	»	400,0	418,0	13,40	13,40	179,6	3,87	108,0	17,6	14,80	0,082	0,085	–
140	Lärche	300,0	318,0	13,36	13,34	178,2	3,86	82,4	17,6	22,40	0,126		
141	»	300,0	318,0	13,86	12,57	174,2	3,63	87,6	17,6	23,00	0,132		
							Mittel	85,0	17,6	22,70	0,129	—	0,128
142	Lärche	200,0	218,0	13,40	13,38	179,3	3,87	56,3	17,6	32,50	0,181		
143	»	200,0	218,0	13,87	12,55	174,1	3,63	60,1	17,6	40,50	0,233		
144	»	200,0	218,0	13,10	13,00	170,3	3,76	58,0	17,6	41,50	0,244		
							Mittel	58,1	17,6	38,17	0,219	—	0,180
145	Lärche	120,0	138,0	13,70	13,60	186,3	3,93	35,1	17,6	49,75	0,267		
146	»	120,0	138,0	13,00	13,00	169,0	3,76	36,7	17,6	45,50	0,269		
							Mittel	35,9	17,6	47,63	0,268	—	0,223
147	Lärche	100,0	118,0	13,87	12,62	175,0	3,65	32,3	17,6	51,80	0,296		
148	»	100,0	118,0	13,90	12,55	174,4	3,63	32,5	17,6	49,80	0,286		
							Mittel	32,4	17,6	50,80	0,291	—	0,239
149	Lärche	50,0	68,0	13,89	12,60	175,0	3,64	18,7	17,6	50,00	0,286		
150	»	50,0	68,0	13,30	13,05	173,6	3,77	18,0	17,6	52,00	0,300		
							Mittel	18,4	17,6	51,00	0,293	—	0,257
151	Lärche	20,0	38,0	13,38	13,31	178,1	3,85	9,9	17,6	54,80	0,308		
152	»	20,0	38,0	13,80	13,60	187,7	3,93	9,7	17,6	59,50	0,317		
153	»	20,0	38,0	13,91	12,64	175,8	3,65	10,4	17,6	60,70	0,345		
							Mittel	10,0	17,6	58,33	0,323	—	0,274
						2. Serie: *Flächenlagerung.*							
154	Föhre	725,0	362,5	14,68	13,40	196,7	3,87	93,7	17,6*)	18,75	0,095	—	0,111
155	»	625,0	312,5	14,70	13,35	196,2	3,86	81,0	17,6	25,00	0,127	—	0,136
156	»	525,0	262,5	14,70	13,30	195,5	3,84	68,4	17,6	32,00	0,164	—	0,169

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
157	Lärche	725,0	362,5	13,27	13,00	172,5	3,76	96,4	17,6	18,25	0,106	—	0,106
158	»	625,0	312,5	13,35	12,95	172,9	3,74	83,6	17,6	26,00	0,150	—	0,131
159	»	525,0	262,5	13,25	13,03	172,6	3,77	69,6	17,6	32,30	0,187	—	0,158
160	Rot-	725,0	362,5	14,85	14,45	214,6	4,18	86,7	15,0*)	22,00	0,102		
161	tanne	720,0	360,0	14,70	14,10	207,3	4,07	88,5	15,0	22,50	0,109		
							Mittel	87,6	15,0	22,30	0,106	—	0,123
162	Rot-	620,0	310,0	14,80	14,35	212,4	4,15	74,7	15,0	29,25	0,138		
163	tanne	600,0	300,0	14,70	13,95	205,1	4,03	74,4	15,0	31,25	0,152		
							Mittel	74,6	15,0	30,25	0,145	—	0,148
164	Rot-	520,0	260,0	14,77	14,30	211,2	4,13	63,0	15,0	37,50	0,178		
165	tanne	500,0	250,0	14,70	13,95	205,1	4,03	62,0	15,0	36,50	0,178		
							Mittel	62,5	15,0	37,00	0,178	—	0,172
166	Weiss-	725,0	362,5	14,20	13,85	196,7	4,00	90,6	15,0	19,25	0,098		
167	tanne	720,0	360,0	14,33	13,17	188,7	3,81	94,5	15,0	19,90	0,105		
							Mittel	92,6	15,0	19,58	0,102	—	0,113
168	Weiss-	620,0	310,0	14,65	13,83	202,6	4,00	77,5	15,0	25,50	0,126		
169	tanne	600,0	300,0	14,08	13,17	185,4	3,81	78,7	15,0	25,50	0,138		
							Mittel	78,1	15,0	25,50	0,132	—	0,141
170	Weiss-	520,0	260,0	14,55	13,70	199,3	3,96	65,7	15,0	34,00	0,171		
171	tanne	500,0	250,0	13,85	13,03	180,5	3,76	66,5	15,0	32,00	0,177		
							Mittel	66,1	15,0	33,00	0,174	—	0,165

3. Serie: *Bestimmung der Elastizitätskoeffizienten und der Druckfestigkeit des Versuchsmaterials.*

										Nt	β_d	γ_d	ε_d
172	Föhre	20,0	—	—	—	197,3	—	—	17,6**	52,10	0,264	0,126	101,6
173	»	20,0	—	—	—	181,3	—	—	17,6	58,55	0,323	0,118	104,6
174	»	20,0	—	—	—	171,2	—	—	17,6	59,90	0,350	—	—
									Mittel	56,85	0,312	0,122	103,1

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Rot- und 2 Weisstannenbalken.

**) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

Lauf. No.	Holzgattung	Urspr. Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	t/cm^2 β_d	Berechnete Werte des Grenzmoduls t/cm^2 γ_d	Elast.-moduls t/cm^2 ε_d
175	Lärche	20,0	—	—	—	178,2	—	—	17,6*)	54,90	0,308	0,113	106,8
176	»	20,0	—	—	—	188,0	—	—	17,6	59,60	0,317	0,120	109,5
177	»	20,0	—	—	—	175,8	—	—	17,6	59,90	0,346	—	—
									Mittel	58,13	0,324	0,117	108,2
178	Rottanne	25,0	—	—	—	201,1	—	—	15,0**	61,90	0,308	—	—
179	»	25,0	—	—	—	204,4	—	—	15,0	59,50	0,291	—	—
180	»	25,0	—	—	—	213,4	—	—	15,0	59,10	0,277	—	—
181	»	25,0	—	—	—	213,1	—	—	15,0	54,55	0,256	—	—
									Mittel	58,67	0,283	—	—
182	Weisstanne	25,0	—	—	—	182,1	—	—	15,0**	61,35	0,337	—	—
183	»	25,0	—	—	—	185,4	—	—	15,0	51,00	0,275	—	—
184	»	25,0	—	—	—	216,1	—	—	15,0	55,50	0,257	—	—
185	»	25,0	—	—	—	202,9	—	—	15,0	57,25	0,282	—	—
									Mittel	56,28	0,288	—	—

Knickungsversuche aus dem Jahre 1894.

Spitzenlagerung.

										N	β_k	β_k	β_k
186	Föhre	629,9	648,6	13,16	13,36	175,8	3,80	170,7	15,5†)	6,38	0,036	0,034	—
187	»	529,4	548,1	13,10	13,35	174,9	3,79	144,6	15,5	8,55	0,049	0,048	—
188	»	410,0	428,6	13,79	14,23	186,2	3,99	107,4	15,5	13,75	0,074	0,085	—
189	»	220,0	238,6	14,00	14,11	197,5	4,05	58,9	15,5	31,75	0,167	—	0,179
190	»	140,3	158,9	14,22	14,11	200,6	4,08	38,9	15,5	32,00	0,160	—	0,218
191	»	99,8	118,4	13,89	14,28	198,3	4,01	29,5	15,5	40,80	0,205	—	0,236
192	»	70,1	35,1	13,75	14,24	195,8	3,97	8,8	15,5	45,00	0,230	—	0,276
193	»	50,2	25,1	14,22	13,74	195,4	3,97	6,3	15,5	46,50	0,238	—	0,281

*) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Föhren- und 2 Lärchenbalken.

**) Mittel aus 4 Versuchen; 2 Rot- und 2 Weisstannenbalken.

†) Mittel aus 3 Versuchen; entsprechend den 3 bezogenen Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
194	Föhre	14,50	7,3	14,29	14,08	201,2	4,07	1,8	15,5	58,00	0,288		
195	»	14,20	7,1	14,19	14,08	199,8	4,07	1,7	15,5	50,00	0,250		
196	»	13,40	6,7	13,24	13,20	174,8	3,81	1,8	15,5	55,50	0,318		
197	»	14,10	7,1	13,90	14,22	197,7	4,02	1,8	15,5	53,00	0,268		
							Mittel	1,8	15,5	54,12	0,281	—	0,290
198	Lärche	630,3	648,9	15,10	15,24	230,1	4,36	148,8	15,1*)	12,10	0,053	0,045	—
199	»	529,7	548,3	14,64	15,25	223,3	4,23	129,6	15,1	15,50	0,069	0,059	—
200	»	410,4	429,0	15,25	15,26	232,7	4,41	97,3	15,1	26,60	0,114	—	0,104
201	»	329,8	348,4	15,15	15,39	233,2	4,38	79,5	15,1	29,60	0,127	—	0,139
202	»	240,0	258,6	15,33	15,02	230,3	4,34	59,6	15,1	53,60	0,233	—	0,177
203	»	140,0	158,6	15,80	15,58	246,2	4,50	35,2	15,1	57,50	0,233	—	0,225
204	»	97,2	115,8	15,13	15,12	228,7	4,37	26,5	15,1	56,10	0,245	—	0,242
205	»	69,8	34,9	15,62	15,63	244,1	4,51	7,7	15,1	66,80	0,274	—	0,278
206	»	50,2	25,1	15,58	15,50	241,5	4,48	5,6	15,1	75,75	0,314	—	0,282
207	»	15,5	7,8	15,33	14,98	229,6	4,33	1,8	15,1	78,80	0,343		
208	»	15,2	7,6	15,17	15,35	232,9	4,38	1,7	15,1	73,00	0,314		
							Mittel	1,8	15,1	75,90	0,329	—	0,290
209	Rottanne	630,7	649,3	12,57	12,49	157,0	3,61	179,9	14,2	6,25	0,040	0,030	—
210	»	530,7	549,3	12,53	12,56	157,4	3,62	151,7	14,2	8,62	0,055	0,043	—
211	»	410,5	429,1	11,46	11,47	131,4	3,31	129,6	13,0	7,50	0,057	0,059	—
212	»	330,3	348,9	11,54	11,99	138,4	3,33	104,8	10,7	12,00	0,087	0,089	—
213	»	240,2	258,8	11,58	11,43	132,4	3,30	77,1	13,0	18,40	0,139	—	0,143
214	»	140,1	158,7	11,81	12,17	143,7	3,41	46,5	10,7	31,00	0,216	—	0,203
215	»	100,0	118,6	12,95	12,58	162,9	3,64	32,6	14,9	40,00	0,246	—	0,230
216	»	96,6	115,2	12,57	12,58	158,1	3,63	31,7	14,2	42,10	0,266	—	0,232

*) Wie bei Föhre.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
217	Rottanne	69,8	88,4	12,13	11,84	143,6	3,42	25,8	10,7	32,50	0,226	—	0,243
218	»	49,8	68,4	12,03	12,09	145,4	3,48	19,7	10,7	32,00	0,220	—	0,255
219	»	11,6	5,8	11,48	11,37	130,5	3,29	1,8	13,0	37,50	0,287		
220	»	11,9	7,5	11,98	12,00	143,8	3,46	1,7	10,7	40,50	0,282		
221	»	12,7	6,4	12,58	12,60	158,5	3,64	1,8	14,2	49,00	0,309		
							Mittel	1,8	12,6	42,33	0,293	—	0,289
222	Weisstanne	630,2	648,8	14,97	15,11	226,2	4,33	149,8	15,0*)	9,75	0,043		
223	»	629,8	648,4	13,03	12,93	168,5	3,74	173,4	15,0	5,75	0,034		
							Mittel	161,6	15,0	7,75	0,039	0,038	—
224	»	529,9	548,5	15,02	15,08	226,5	4,34	126,4	15,0	13,10	0,058		
225	»	529,4	548,0	12,93	12,62	163,2	3,65	150,1	15,0	8,30	0,051		
							Mittel	138,3	15,0	10,70	0,055	0,052	-
226	»	409,8	428,6	13,04	12,98	169,3	3,75	114,3	15,0	13,10	0,077		
227	»	410,0	428,6	14,52	14,36	208,5	4,15	103,3	15,0	15,50	0,074		
							Mittel	108,8	15,0	14,30	0,076	0,083	—
228	»	330,1	348,7	15,22	15,18	231,0	4,39	79,4	15,0	30,10	0,130		
229	»	330,0	348,6	15,78	15,92	251,2	4,56	76,4	15,0	25,50	0,102		
							Mittel	77,9	15,0	27,80	0,116	—	0,142
230	»	241,6	260,2	15,09	15,03	226,8	4,34	60,0	15,0	28,50	0,126		
231	»	220,0	238,6	12,91	13,06	168,6	3,73	64,0	15,0	29,00	0,172		
							Mittel	62,0	15,0	28,75	0,149	—	0,173
232	»	140,5	159,2	16,02	15,89	254,6	4,59	34,7	15,0	45,25	0,178		
233	»	139,8	158,4	14,90	14,80	220,5	4,28	37,0	15,0	44,00	0,200		
							Mittel	35,9	15,0	44,63	0,189	—	0,223
234	»	96,0	114,6	15,04	14,95	224,8	4,32	26,5	15,0	53,70	0,239		
235	»	100,0	118,6	15,18	15,05	228,5	4,35	27,3	15,0	49,50	0,217		
							Mittel	26,9	15,0	51,60	0,228	—	0,241
236	»	70,2	35,1	14,90	14,75	219,8	4,26	8,2	15,0	49,00	0,223	—	0,277
237	»	50,1	25,0	15,08	15,00	226,2	4,34	5,8	15,0	57,00	0,252		
238	»	50,1	25,1	14,91	14,78	220,4	4,27	5,9	15,0	50,00	0,227		
							Mittel	5,9	15,0	53,50	0,240	—	0,282

*) Wie bei Föhre und Lärche.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
239	Weisstanne	14,9	7,5	15,05	14,83	223,2	4,29	1,7	15,0	58,50	0,262		
240	»	14,8	7,4	14,98	14,88	222,9	4,30	1,7	15,0	56,00	0,251		
241	»	15,8	7,9	15,90	16,08	255,7	4,60	1,7	15,0	62,50	0,244		
							Mittel	1,7	15,0	59,00	0,252	—	0,290
242	Eiche	630,7	649,3	11,84	13,05	154,5	3,42	189,9	15,6*)	3,70	0,024	0,027	—
243	»	530,3	548,9	11,72	13,04	152,8	3,39	161,6	14,8	5,60	0,037	0,038	—
244	»	410,4	429,0	11,86	12,25	145,3	3,43	125,1	22,2	9,50	0,065	0,063	—
245	»	325,5	344,1	11,66	11,67	136,1	3,37	102,1	15,6	13,20	0,097	0,095	—
246	»	240,0	258,6	11,79	12,86	151,6	3,41	75,8	22,2	20,00	0,132	—	0,146
247	»	140,1	158,7	11,68	13,02	152,1	3,36	47,2	14,8	34,00	0,223	0,202	—
248	»	69,8	88,4	11,64	12,86	149,7	3,36	26,3	14,8	41,30	0,276		
249	»	50,0	68,6	11,87	13,03	154,7	3,43	20,0	14,8	45,25	0,292		
							Mittel	23,2	14,8	43,28	0,284	—	0,248
250	»	11,8	5,9	11,62	11,60	134,8	3,35	1,8	15,6	61,75	0,458		
251	»	11,8	5,9	11,93	12,28	146,5	3,45	1,7	22,2	45,00	0,307		
252	»	12,9	6,5	11,66	12,90	150,4	3,37	1,9	15,6	44,00	0,293		
							Mittel	1,8	17,8	50,25	0,353	—	0,290

Knickungsversuche aus dem Jahre 1895.

Spitzenlagerung.

1. Serie: Gemäss Arbeitsprogramm für die Genfer Landesausstellung.
Materiallieferant: *Forstverwaltung des Kt. Wallis* (Brieg).

253	Föhre	522,0	541,2	14,82	14,86	220,2	4,28	126,4	13,3**)	13,25	0,060	0,062	—
254	»	470,0	489,2	15,02	15,00	225,3	4,34	112,7	13,3	15,20	0,067	0,078	—
255	»	380,2	399,4	14,82	14,82	219,6	4,28	93,3	13,3	21,70	0,099	—	0,112

*) 1 Versuch; entsprechend einem bezogenen Balken.

**) Mittel aus 2 Versuchen; entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	t cm² β_k	Berechnete Knickspannung t cm² nach Euler β_k	Tetmajer β_k
256	Föhre	199,9	219,1	15,00	15,03	225,5	4,34	50,5	13,3	43,25	0,192	—	0,195
257	»	150,0	169,2	15,01	15,97	224,7	4,34	39,0	13,3	47,80	0,213	—	0,217
258	»	74,9	37,5	15,01	15,01	225,3	4,34	8,6	13,3	66,40	0,295	—	0,276
259	»	15,0	7,5	14,75	14,78	218,0	4,26	1,8	13,3	78,80	0,361	—	0,280
260	Lärche	522,3	541,5	14,83	14,83	219,9	4,29	126,2	15,1*)	11,35	0,052	0,062	—
261	»	470,0	489,2	15,00	15,02	225,3	4,34	112,7	15,1	16,20	0,072	0,078	—
262	»	380,2	399,4	14,43	14,42	208,1	4,17	95,8	15,1	16,75	0,080	—	0,107
263	»	200,0	219,2	15,00	15,00	225,0	4,34	50,5	15,1	41,40	0,184	—	0,197
264	»	150,1	169,3	14,97	15,00	224,6	4,33	39,1	15,1	51,40	0,228	—	0,217
265	»	74,7	37,4	15,01	15,00	225,2	4,34	8,6	15,1	63,50	0,282	—	0,276
266	»	14,9	7,5	14,77	14,80	218,6	4,27	1,8	15,1	83,30	0,381	—	0,288
267	Rottanne	522,1	541,3	14,81	14,84	219,8	4,28	126,5	13,1*)	15,20	0,069	0,062	—
268	»	470,2	489,4	15,00	15,03	225,5	4,34	112,8	13,1	16,20	0,072	0,078	—
269	»	380,2	399,4	14,82	14,79	219,2	4,27	93,5	13,1	26,00	0,119	—	0,112
270	»	200,2	219,4	14,97	14,96	224,0	4,32	50,8	13,1	45,30	0,202	—	0,197
271	»	122,3	141,5	14,81	14,75	218,4	4,26	33,2	13,1	56,30	0,258	—	0,227
272	»	75,0	37,5	14,97	15,00	224,6	4,33	8,7	13,1	59,00	0,263	—	0,276
273	»	14,8	7,4	14,78	14,79	218,6	4,27	1,7	13,1	68,70	0,314	—	0,280
	2. Serie: Gemäss Arbeitsprogramm für die Genfer Landesausstellung. Materiallieferant: *Forstverwaltung des Kt. Waadt.*												
274	Rottanne	600,1	619,3	14,99	14,99	224,7	4,33	143,0	14,4*)	15,65	0,070	0,048	—
275	»	520,0	539,2	14,77	14,77	218,2	4,27	126,3	14,4	19,10	0,088	0,062	—
276	»	379,8	399,0	14,84	14,82	219,9	4,28	93,2	14,4	27,25	0,124	—	0,112

*) Mittel aus 2 Versuchen, entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprr. Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
277	Rottanne	200,0	219,2	14,54	14,51	211,0	4,19	52,3	14,4	49,50	0,235	—	0,192
278	»	150,1	75,1	14,70	14,73	216,5	4,25	17,7	14,4	69,50	0,321	—	0,259
279	»	75,0	37,5	14,68	14,68	215,5	4,24	8,8	14,4	70,80	0,329	—	0,276
280	»	14,8	7,4	14,96	14,98	224,1	4,32	1,7	14,4	86,30	0,385	—	0,290
281	Weisstanne	600,0	619,2	13,48	14,52	195,7	3,90	158,8	17,6*)	6,40	0,033	0,039	—
282	»	520,2	539,4	13,12	14,32	187,9	3,79	142,3	17,6	7,75	0,041	0,048	—
283	»	380,3	399,5	14,54	14,52	211,1	4,20	95,1	17,6	21,00	0,099	—	0,109
284	»	200,2	219,4	15,02	15,04	225,9	4,34	50,6	17,6	51,50	0,228	—	0,195
285	»	150,0	75,0	13,10	14,33	187,7	3,79	19,8	17,6	42,40	0,226	—	0,255
286	»	75,0	37,5	13,07	14,27	186,5	3,78	9,9	17,6	46,00	0,247	—	0,274
287	»	13,5	6,8	13,45	14,50	195,0	3,89	1,7	17,6	61,70	0,316	—	0,290
	3. Serie: Gemäss Arbeitsprogramm für die Genfer Landesausstellung. Materiallieferant: *Forstverwaltung des Kt. Waadt.*												
288	Föhre	594,5	613,7	14,96	15,01	224,5	4,32	142,1	16,8*)	8,63	0,038	0,049	—
289	»	520,2	539,4	14,95	15,00	224,3	4,32	124,9	16,8	10,88	0,049	0,063	—
290	»	380,2	399,4	15,02	14,99	225,1	4,33	92,2	16,8	22,25	0,099	—	0,114
291	»	199,7	218,9	15,02	14,96	224,7	4,32	50,7	16,8	39,50	0,176	—	0,195
292	»	149,9	169,1	14,94	14,98	223,8	4,32	39,1	16,8	39,50	0,176	—	0,217
293	»	74,8	37,4	14,94	14,99	224,0	4,32	8,7	16,8	47,50	0,212	—	0,276
294	»	50,1	25,1	14,97	14,95	223,8	4,32	5,8	16,8	62,50	0,279	—	0,282
295	»	15,1	7,6	14,92	15,00	223,8	4,31	1,8	16,8	79,10	0,353	—	0,290
296	Rottanne	598,0	617,2	15,00	15,02	225,3	4,34	142,2	14,6*)	14,25	0,063	0,049	—
297	»	520,0	539,2	14,60	14,61	213,3	4,22	127,8	14,6	15,40	0,072	0,061	—

*) Mittel aus 2 Versuchen, entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

Lauf. No.	Holzgattung	Ursprüngliche Balkenlänge l_0 cm	Wirksame Balkenlänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Balkenmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Mittl. Feuchtigkeit %	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
298	Rottanne	380,4	399,6	15,00	15,00	225,0	4,34	92,1	14,6	28,00	0,124	—	0,114
299	»	200,2	219,4	15,03	15,00	225,5	4,34	50,6	14,6	49,50	0,220	—	0,195
300	»	150,1	169,3	14,61	14,61	213,5	4,22	40,1	14,6	54,50	0,255	—	0,215
301	»	75,1	37,6	14,64	14,60	213,7	4,22	8,9	14,6	53,30	0,249	—	0,276
302	»	50,1	25,1	14,62	14,59	213,3	4,22	5,9	14,6	63,00	0,295	—	0,282
303	»	15,0	7,5	14,61	14,59	213,2	4,22	1,8	14,6	74,10	0,348	—	0,290
304	Weisstanne	598,0	617,2	15,00	15,00	225,0	4,34	142,2	13,5*)	10,63	0,047	0,049	—
305	»	520,2	539,4	14,68	14,70	215,8	4,24	127,2	13,5	13,70	0,063	0,061	—
306	»	380,2	399,4	15,05	15,00	225,8	4,34	92,0	13,5	23,25	0,103	—	0,115
307	»	200,1	219,3	14,99	15,05	225,6	4,33	50,6	13,5	43,00	0,191	—	0,195
308	»	150,1	169,3	14,69	14,68	215,6	4,24	39,9	13,5	46,50	0,216	—	0,216
309	»	75,0	37,5	14,70	14,68	215,8	4,24	8,8	13,5	46,50	0,215	—	0,276
310	»	50,1	25,1	14,70	14,66	215,5	4,24	5,9	13,5	49,60	0,230	—	0,282
311	»	15,2	7,6	14,62	14,69	214,8	4,23	1,8	13,5	61,00	0,284	—	0,290
312	Eiche	590,2	609,4	14,42	15,01	216,4	4,17	146,1	22,7*)	11,75	0,054	0,046†	—
313	»	520,0	539,2	14,01	14,98	209,9	4,05	133,1	22,7	12,90	0,061	0,056	—
314	»	380,2	399,4	14,06	14,93	223,4	4,31	92,7	22,7	27,50	0,123	—	0,113†
315	»	200,0	219,2	14,90	14,99	223,4	4,31	50,9	22,7	49,00	0,219	—	0,194
316	»	149,8	169,0	14,01	15,02	210,4	4,05	41,7	22,7	57,00	0,271	—	0,212
317	»	74,9	37,5	13,99	15,00	209,9	4,04	9,3	22,7	66,00	0,314	—	0,275
318	»	50,0	25,0	14,02	14,98	210,0	4,05	6,2	22,7	71,00	0,338	—	0,282
319	»	15,1	7,6	13,95	14,96	208,7	4,03	1,9	22,7	80,30	0,385	—	0,290

*) Mittel aus 2 Versuchen; entsprechend den eingelieferten 2 Balken.

†) Die Berechnung der Knickungsspannungen erfolgte für die Eiche nach den Formeln für das Nadelholz; daher die Divergenz der berechneten und beobachteten Werte.

Die beigeheftete Tafel II enthält die graphische Darstellung der gewonnenen Resultate. Als Abscissen des orthogonalen Coordinatensystems sind die massgebenden Längenverhältnisse ($l : i$ = freie Knicklänge: kleinster Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche), als Ordinaten in t/cm^2 diejenigen, mittleren spezifischen Pressungen (Kraft: Fläche) in die Tafel eingetragen, bei welchen der Verlust des Tragvermögens eingetreten ist.

Als freie Knickungslänge = der wirksamen Stablänge wurde bei Spitzenlagerung der Körnerabstand l, vrgl. Abb. 14, bei Flächenlagerung auf unwandelbaren Druckflächen die halbe Balkenlänge in Rechnung gestellt.

In Tafel II wurden eingetragen:

1. *Sämtliche Einzelversuche* der tabellarischen Zusammenstellungen auf Seite 95—108;
2. bei gleichartigen Versuchen, welche in den Zusammenstellungen auf Seite 95 bis 108 das Ziehen eines Mittelwerts gestatteten, *das massgebende Mittel, sowie der Grösst- und Kleinstwert* der Einzelversuchsgruppen;
3. für die Nadelholzsorten: Föhre, Lärche, Weisstanne und Rottanne *die Werte der Gruppenmittel* für die massgebenden Längenverhältnisse:

$\frac{l}{i}$ =	0	bis einschliesslich	5;	=	80	bis einschliesslich	100;
	5	» «	10;		100	» »	120;
	10	» »	20;		120	» »	140;
	20	» »	40;		140	» »	160;
	40	» »	60;		160	» »	180;
	60	» »	80;		180	» »	200;

4. *die Generalmittel* dieser Gruppen ohne Rücksicht auf die Holzart.

Unsere Beobachtungen und die Ergebnisse der graphischen Darstellung der gewonnenen Versuchsresultate führen nun zu nachstehenden Folgerungen:

a. Centrischem Drucke unterworfene Balken mit Längenverhältnissen $l : i >$ ca. 100 tragen den Charakter vorwiegend elastischer Körper; d. h. nach Wegnahme der Grenzbelastung verschwindet deren Formveränderung grösstenteils.

b. Centrischem Drucke unterworfene Balken mit Längenverhältnissen $l:i <$ ca. 100 tragen den Charakter vorwiegend unelastischer Körper, d. h. nach Wegnahme der Grenzbelastung verschwindet blos ein relativ kleiner Teil der Formveränderungen.

c. Bei Balken mit vorwiegend elastischem Charakter ($l:i >$ ca. 100) treten deutlich ausgeprägte, regelmässige Biegungserscheinungen auf, welche bis zur Grenze des Tragvermögens des Balkens, den Belastungen nicht proportional, oft unregelmässig wachsen. An der Grenze des Tragvermögens treten Gefüge-Zerstörungen, das bekannte Ineinanderschieben der Fasern, nur ausnahmsweise auf.

d. Bei Balken mit vorwiegend unelastischem Charakter ($l:i <$ ca. 100) wechseln die äusseren Erscheinungen. Bei längern Prismen treten oft regelmässige Biegungserscheinungen auf, oft steht der Balken fast regungslos bis zur Grenze seines Tragvermögens und schlägt sich sodann plötzlich durch. Der Verlust des Tragvermögens ist fast regelmässig mit Gefügezerstörungen, dem Ineinanderpressen der Fasern, welches stets an Astknoten beginnt, verbunden.

e. Die Druckfestigkeit des Holzes hängt in erster Linie von dessen Feuchtigkeit, sodann von der Beschaffenheit, Verteilung und Häufigkeit der Astknoten ab; mit wachsender Balkenlänge nimmt der Einfluss der Astknoten ab. Bei Balken mit Längenverhältnissen $l:i > 150$ ist derselbe bereits verschwindend klein, wenn die Astknoten verteilt, gut verwachsen und nicht aussergewöhnlich zahlreich sind.

*f. Für lufttrockenes Nadelholz mit Längenverhältnissen ($l:i >$ ca. 100) stimmt die Euler'*sche *Formel:*

$$\beta_k = \pi^2 \varepsilon \left(\frac{i}{l}\right)^2 \text{ für } \varepsilon = 105 \; t/cm^2$$

mit den Mittelwerten der Versuchsresultate fast vollkommen überein. Für Längenverhältnisse mit $l:i <$ ca. 100 verliert dieselbe ihre Gültigkeit und liegen die Mittelwerte der spezifischen Knickspannungen um eine Gerade von der Form:

$$\beta_k = a - b\left(\frac{l}{i}\right)$$

gruppiert. Werden die Constanten a und b derart bestimmt,

dass die Gerade zur Schwerlinie der Versuchsresultate wird, so findet man:

$$\beta_k = 0{,}293 - 0{,}00194 \left(\frac{l}{i}\right).$$

Die durch vorstehende Gleichung dargestellte Gerade schneidet die kubische Hyperbel *Euler's* für $\varepsilon = 105$ nicht.

Bringt man in Anschlag, dass zufolge der unvermeidlichen Reibung der stählernen Spitzen der beweglichen Lagerplatten in den Pfannen der festen Lagerplatten die unter zu Grundelegung der Spitzenkörner gewonnenen Resultate eher etwas zu hoch ausgefallen sind, so wird man für den Elasticitätsmodul der Euler'schen Formel $\varepsilon = 100\ t/cm^2$ annehmen, dieselbe somit in Form:

$$\beta_k = 987{,}0 \left(\frac{i}{l}\right)^2$$

schreiben dürfen, welche Gleichung für $\frac{l}{i} = 100$ den nämlichen Wert liefert, als vorstehende empirische Knickungsformel.

Für alle Fälle der Anwendung hinreichend genau wird somit für lufttrockenes Bauholz, welches dem schmiedbaren Eisen ähnlich, dem Proportionalitätsgesetze folgt und in astreinem Zustande meist scharf ausgeprägte Elasticitätsgrenze besitzt, die Knickspannung durch folgende Formelgruppen ausgedrückt:

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{i} = 1{,}8$ bis 100:

$$\beta_k = 0{,}293 - 0{,}00194 \left(\frac{l}{i}\right);$$

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{i} > 100$:

$$\beta_k = 987{,}0 \left(\frac{i}{l}\right)^2.$$

Bezeichnet F in cm^2 den Querschnittsinhalt des dem centrischen Drucke unterworfenen Balkens, so wird seine Tragkraft an der Grenze, bei welcher entweder Ineinanderpressen der Fasern oder Verlust des Tragvermögens wegen Durchbiegung auftritt, ausgedrückt in t:

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{i} = 1{,}8$ bis 100 durch:

$$N = \beta_k F = \left(0{,}293 - 0{,}00194 \frac{l}{i}\right) F;$$

für Balken mit Längenverhältnissen $\frac{l}{i} > 100$ durch:

$$N = \beta_k F = 987{,}0 \left(\frac{i}{l}\right)^2 F = 987{,}0 \frac{J}{l^2}$$

dargestellt sein, worin $J = Fi^2$ das kleinste Trägheitsmoment der Querschnittsfläche des Balkens bedeutet.

g. Unter zu Grundelegung einer mittleren Druckfestigkeit des Nadelholzes im Betrage von:

$$\beta_d = 0{,}293 \; t/cm^2 *)$$

und unter Berücksichtigung der Grundformeln:

$$\beta_k = 0{,}293 - 0{,}00194 \left(\frac{l}{i}\right) \quad \text{und} \quad \beta_k = 987{,}0 \left(\frac{i}{l}\right)^2$$

liefert die *Schwarz-Rankine*'sche Knickungsformel:

$$\beta_k = \frac{\beta_d}{1 + \eta \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

folgende Werte des Knickungskoefficienten η:

für $\frac{l}{i} = 10$:	$\eta = 0{,}000693$;	für $\frac{l}{i} = 90$:	$\eta = 0{,}000183$;
$= 20$:	$=$ » 385;	$= 100$:	$=$ » 196;
$= 30$:	$=$ » 274;	$= 120$:	$=$ » 225;
$= 40$:	$=$ » 224;	$= 140$:	$=$ » 248;
$= 50$:	$=$ » 194;	$= 160$:	$=$ » 254;
$= 60$:	$=$ » 182;	$= 180$:	$=$ » 261;
$= 70$:	$=$ » 177;	$= 200$:	$=$ » 268.
$= 80$:	$=$ » 176;		

Hierans geht hervor, dass der Knickungskoeffizient weder constant, noch durch *eine* Funktion von $\frac{l}{i}$ sich ausdrücken lässt.

*) Soferne man die Würfelfestigkeit eines Materials als dessen Druckfestigkeit definiert, so ist 0,293 nicht die eigentliche Druckfestigkeit des Nadelholzes, denn diese Zahl ist aus der Gleichung

$$\beta_k = 0{,}293 - 0{,}00194 \left(\frac{l}{i}\right)$$

für $\frac{l}{i} = 0$ hervorgegangen. Sie ist der Druckfestigkeit des Nadelholzes verwandt und kann zu Vergleichszwecken recht wohl als »*eine Art von Druckfestigkeit*« angesehen und verwendet werden.

II. Abteilung: Gusseisen.

Lauf. No.	Ursprl. Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
Stehender Hochofenguss von Choindez; Spitzenlagerung.											
1. Serie:											
Nomineller, *innerer Durchmesser:* 10,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm*.											
1	390,0	414,9	11,60	0,788	26,7	3,83	108,3	20,00	0,75		
2	390,0	414,9	11,60	0,813	27,5	3,82	108,6	17,36	0,63		
					Mittel	3,83	108,5	18,68	0,69	0,84	—
3	350,0	374,9	11,58	0,820	27,7	3,81	98,4	33,80	1,22		
4	350,0	374,9	11,68	0,800	27,3	3,85	97,4	26,26	0,96		
					Mittel	3,83	97,9	30,03	1,09	1,02	—
5	300,0	324,9	11,60	0,818	27,7	3,82	85,1	38,46	1,39		
6	300,0	324,9	11,60	0,763	25,9	3,84	84,6	36,45	1,41		
					Mittel	3,83	84,9	37,46	1,40	1,36	—
7	250,0	274,9	11,63	0,845	28,6	3,82	72,0	52,15	1,82		
8	250,0	274,9	11,68	0,820	27,9	5,85	71,4	60,00	2,15		
					Mittel	3,84	71,7	56,08	1,99	—	1,88
9	200,0	224,9	11,70	0,875	29,8	3,84	58,6	71,90	2.41		
10	200,0	224,9	11,68	0,863	29,3	3,84	58,6	68,80	2,35		
					Mittel	3,84	58,6	70,35	2,38	—	2,55
11	150,0	174,9	11.63	0,833	28,2	3,83	45,7	100,12	3,55		
12	150,0	174,9	11,68	0,783	26,8	3,86	45,3	90,75	3,39		
					Mittel	3,85	45,5	95,44	3,47	—	3,40
13	100,3	125,2	11,90	0,842	29,2	3,92	31,9	153,00	5,24		
14	100,3	125,2	11,70	0,775	26,6	3,88	32,3	131,00	4,93		
					Mittel	3,90	32,1	142,00	5,09	—	4,45
15	50,0	74,9	11,70	0,771	26,5	3,87	19,4	186,00	7,02		
16	50,0	74,9	11,75	0,803	27,6	3,88	19,3	183,00	6.63		
					Mittel	3,88	19,4	184,50	6,83	—	5,63
17	20,0	44,9	11,60	0,774	26,6	3,83	11,7	170,00	6,39		
18	20,0	44,9	11,63	0,769	26,2	3,85	11,7	178,00	6,79		
					Mittel	3,84	11,7	174,00	6,59	—	6,43

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittlerer äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
					2. Serie:						
					Nomineller, *innerer Durchmesser:* 12,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
19	391,0	415,9	13,53	0,820	32,8	4,52	92,0	31,53	0,96		
20	391,0	415,9	13,63	0,850	34,1	4,53	91,8	30,93	0,91		
					Mittel	4,53	91,9	31,23	0,94	1,17	—
21	350,0	374,9	13,78	0,853	34,6	4,58	81,9	43,50	1,26		
22	350,0	374,9	13,78	0,923	37,2	4,56	82,2	44,80	1,20		
					Mittel	4,57	82,1	44,15	1,23	1,46	—
23	300,0	324,9	13,55	0,760	30,5	4,53	71,7	47,35	1,55		
24	300,0	324,9	13,58	0,855	34,1	4,51	72,0	45,00	1,32		
					Mittel	4,52	71,9	46,18	1,44	—	1,87
25	250,0	274,9	13,73	0,813	32,9	4,57	60,2	75,00	2,28		
26	250,0	274,9	13,73	0,850	34,1	4,56	60,3	70,30	2,06		
					Mittel	4,57	60,3	72,65	2,17	—	2,45
27	200,0	224,9	13,60	0,775	31,2	4,54	49,5	90,00	2,88		
28	200,0	224,9	13,73	0,784	31,8	4,59	49,0	108,00	3,40		
					Mittel	4,57	49,3	99,00	3,14	—	3,13
29	150,0	174,9	13,68	0,830	33,5	4,55	38,4	126,50	3,78		
30	150,0	174,9	13,65	0,779	31,5	4,56	38,4	103,00	3,27		
					Mittel	4,56	38,4	114,75	3,53	—	3,93
31	100,0	124,9	13,75	0,875	33,1	4,58	27,3	158,50	4,79		
32	100,0	124,9	13,60	0,791	33,8	4,54	27,5	143,00	4,50		
					Mittel	4,56	27,4	150,75	4,65	—	4,87
33	50,0	74,9	13,70	0,830	33,5	4,56	16,4	185,00	5,52		
34	50,0	74,9	13,73	0,813	33,0	4,57	16,4	183,00	5,55		
					Mittel	4,57	16,4	184,00	5,54	—	5,93
35	20,0	44,9	13,60	0,818	32,8	4,53	9,9	208,00	6,34		
36	20,0	44,9	13,65	0,819	33,0	4,55	9,9	198,00	6,00		
					Mittel	4,54	9,9	203,00	6,17	—	6,62

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
					3. Serie:						
					Nomineller, *innerer Durchmesser:* 15,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
37	390,3	415,2	17,10	0,963	49,0	5,72	72,6	68,95	1,41		
38	390,4	415,3	17,03	0,940	47,5	5,70	72,9	75,00	1,58		
					Mittel	5,71	72,8	71,98	1,50	—	1,82
39	350,6	375,5	17,13	0,928	47,2	5,74	65,4	81,50	1,73		
40	350,6	375,5	17,00	0,910	46,1	5,70	65,9	84,05	1,82		
					Mittel	5,72	65,7	82,78	1,78	—	2,17
41	300,4	325,3	17,01	0,888	45,0	5,71	57,0	97,95	2,18		
42	300,4	325,3	17,01	0,905	48,2	5,69	57,2	104,00	2,16		
					Mittel	5,70	57,1	100,98	2,17	—	2,64
43	250,6	275,5	17,00	1,035	51,9	5,66	48,7	129,40	2,49		
44	250,6	275,5	17,10	0,943	47,8	5,72	48,2	124,15	2,60		
					Mittel	5,69	48,5	126,78	2,55	—	3,19
45	200,0	224,9	17,03	0,943	47,7	5,70	39,5	142,50	2,99		
46	200,0	224,9	17,18	0,958	48,8	5,75	39,2	144,30	2,96		
					Mittel	5,73	39,4	143,40	2,98	—	3,85
47	150,5	175,4	17,10	0,900	45,8	5,74	30,6	169,50	3,70		
48	150,4	175,3	17,00	0,926	46,9	5,69	30,8	166,22	3,54		
					Mittel	5,72	30,7	167,85	3,62	—	4,58
49	100,0	124,9	17,08	0,950	48,1	5,71	21,9	205,30	4,27		
50	100,4	125,3	17,05	0,950	48,0	5,70	22,0	195,80	4,08		
					Mittel	5,71	22,0	200,55	4,18	—	5,38
51	50,0	74,9	17,00	0,938	47,9	5,68	13,2	246,00	5,14		
52	50,0	74,9	17,00	0,923	46,7	5,69	13,2	259,50	5,56		
					Mittel	5,69	13,2	252,75	5,35	—	6,27
53	20,0	44,9	16,95	0,943	47,3	5,67	7,9	265,50	5,61		
54	20,0	44,9	16,95	0,950	47,7	5,66	7,9	251,50	5,27		
					Mittel	5,67	7,9	258,50	5,44	—	6,84

Lauf. No.	Urspr. Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
Carels, frères, Constructeurs à Gand (Belgique).											
1. Serie: Nomineller, *innerer Durchmesser:* 10,0 *cm*; *Wandstärke:* 1,0 *cm.*											
55*	300,0	324,9	12,01	1,050	36,1	3,89	83,5	49,20	1,30		
56*	300,0	324,9	12,10	1,088	37,6	3,91	83,1	54,75	1,46		
					Mittel	3,90	83,3	51,98	1,38	1,43	—
57*	250,0	274,9	12,10	0,990	34,5	3,94	69,8	68,45	1,98		
58*	250,0	274,9	12,15	1,138	39,3	3,91	70,3	82,70	2,10		
					Mittel	3,93	70,1	75,58	2,04	—	1,95
59*	200,0	224,9	12,10	1,033	36,0	3,93	57,2	106,75	2,97		
60*	200,0	224,9	12,10	1,068	37,0	3,92	57,4	107,00	2,89		
					Mittel	3,93	57,3	106,88	2,93	—	2,62
61*	150,0	174,9	12,15	1,075	37,4	3,93	44,5	141,50	3,78		
62*	150,0	174,9	12,15	1,105	38,3	3,92	44,6	128,50	3,36		
					Mittel	3,93	44,6	135,00	3,57	—	3,46
63*	100,0	124,9	12,15	1,062	37,0	3,94	31,7	164,00	4,43		
64*	100,0	124,9	12,18	1,075	37,5	3,94	31,7	131,00	3,49		
					Mittel	3,94	31,7	147,50	3,96	—	4,49
65*	50,0	74,9	12,10	0,988	34,5	3,94	19,0	190,00	5,51		
66*	50,0	74,9	12,10	1,063	36,8	3,92	19,1	202,00	5,49		
					Mittel	3,93	19,1	196,00	5,50	—	5,66
67*	20,0	44,9	11,95	1,023	35,1	3,88	11,6	228,00	6,50		
68*	20,0	44,9	12,10	0,979	34,2	3,95	11,4	238,50	6,97		
					Mittel	3,92	11,5	233,25	6,74	—	6,45
2. Serie: Nomineller, *innerer Durchmesser:* 12,0 *cm*; *Wandstärke:* 1,0 *cm.*											
69*	300,0	324,9	14,30	1,175	48,4	4,66	69,7	82,43	1,70		
70*	300,0	324,9	14,25	1,117	46,0	4,66	69,7	80,35	2,29		
					Mittel	4,66	69,7	81,39	2,00	—	2,07

*) Ziemlich stark excentrischer Röhrenguss.

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
71*	250,0	274,9	143,50	1,125	46,7	4,69	58,6	120,00	2,57		
72*	250,0	274,9	143,00	1,208	49,6	4,65	59,1	165,00	3,33		
					Mittel	4,67	58,9	142,50	2,95	—	2,53
73	200,0	224,9	14,30	1,083	44,9	4,69	48,0	164,50	3,66		
74	200,0	224,9	14,28	1,130	46,7	4,67	48,2	162,00	3,47		
					Mittel	4,68	48,1	163,25	3,57	—	3,22
75	150,0	174,9	14,30	1,144	47,5	4,67	37,5	193,00	4,06		
76	150,0	174,9	14,25	1,149	47,3	4,65	37,6	191,00	4,04		
					Mittel	4,66	37,6	192,00	4,05	—	4,00
77	100,0	124,9	14,30	1,150	47,5	4,67	26,7	215,00	4,53		
78*	100,0	124,9	14,30	1,138	47,0	4,67	26,7	204,00	4,34		
79*	100,0	124,9	14,30	1,175	48,4	4,66	26,8	181,00	3,74		
					Mittel	4,67	26,8	200,00	4,20	—	4,92
80	50,0	74,9	14,20	1,114	45,7	4,64	16,1	297,00	6,50		
81	50,0	74,9	14,30	1,101	45,6	4,68	16,0	243,00	5,33		
82	50,0	74,9	14,40	1,144	47,7	4,70	15,9	267,00	5,60		
83	50,0	74,9	14,20	1,091	44,9	4,65	16,1	307,50	6,85		
					Mittel	4,67	16,0	278,63	6,07	—	4,98
84	20,0	44,9	14,30	1,106	45,8	4,68	9,6	306,00	6,68		
85	20,0	44,9	14,20	1,103	45,3	4,65	9,7	293,25	6,47		
					Mittel	4,67	9,7	299,63	6,58	—	6,65

3. Serie:

Nomineller, *innerer Durchmesser:* 15,0 *cm*; *Wandstärke:* 1,0 *cm.*

86	300,0	324,9	17,00	1,080	54,0	5,64	57,6	123,90	2,29		
87	300,0	324,9	16,93	1,038	51,8	5,63	57,7	125,00	2,41		
					Mittel	5,64	57,7	124,45	2,35	—	2,44
88	250,0	274,9	17,10	1,038	52,3	5,69	48,3	162,80	3,11		
89	250,0	274,9	17,00	1,000	50,3	5,67	48,5	165,00	3,28		
					Mittel	5,68	48,4	163,90	3,20	—	3,19

Lauf. No.	Urspr. Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
90	200,0	224,9	16,95	0,988	49,5	5,65	39,8	191,00	3,86		
91	200,0	224,9	16,95	0,945	47,5	5,67	39,7	188,00	3,96		
					Mittel	5,66	39,8	189,50	3,91	—	3,82
92	150,0	174,9	17,10	1,091	54,8	5,67	30,8	223,00	4,07		
93	150,0	174,9	16,85	0,925	46,3	5,64	31,0	216,00	4,67		
					Mittel	5,66	30,9	219,50	4,37	—	4,56
94	100,0	124,9	17,10	1,113	55,8	5,67	22,0	263,00	4,71		
95	100,0	124,9	17,10	1,033	52,1	5,69	22,0	292,50	5,61		
					Mittel	5,68	22,0	277,75	5,16	—	5,38
96*	50,0	74,9	17,50	1,028	52,8	5,80	12,9	300,00	5,68		
97	50,0	74,9	17,10	1,040	52,4	5,69	13,2	292,50	5,58		
					Mittel	5,75	13,1	296,25	5,63	—	6,23
98	20,0	44,9	16,70	0,893	44,4	5,60	8,0	273,00	6,15		
					Mittel	5,60	8,0	273,00	6,15	—	6,83

Rud. Böcking & Co.; Halbergerhütte, Brebach.

1. Serie: Säulenguss.

Nomineller, *innerer Durchmesser*: 10,0 *cm*: *Wandstärke*: 0,8 *cm*.

99	390,0	414,9	11,63	0,873	29,5	3,81	108,9	22,86	0,78		
100	400,0	424,9	11,68	0,910	30,8	3,82	111,2	22,42	0,73		
					Mittel	3,82	110,1	22,64	0,76	0,81	—
101	350,0	374,9	11,73	0,863	29,4	3,85	97,4	35,00	1,19		
102	350,0	374,9	11,73	0,860	29,3	3,85	97,4	33,73	1,15		
					Mittel	3,85	97,4	34,37	1,17	1,04	—
103	300,0	324,9	11,65	0,843	28,6	3,83	84,8	40,00	1,40		
104	300,0	324,9	11,70	0,880	29,9	3,84	84,6	39,30	1,31		
					Mittel	3,84	84,7	39,65	1,36	1,38	—
105	250,0	274,9	11,70	0,875	29,8	3,84	71,6	60,00	2,01		
106	250,0	274,9	11,70	0,838	28,6	3,85	71,4	60,00	2,10		
					Mittel	3,85	71,5	60,00	2,06	—	1,89

Lauf. No.	Ursprl. Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
107	200,0	224,9	11,63	0,800	27,2	3,84	58,6	65,40	2,41		
108	200,0	224,9	11,65	0,905	30,5	3,81	59,0	70,95	2,33		
					Mittel	3,83	58,8	68,18	2,37	—	2,53
109	150,0	174,9	11,70	0,908	30,8	3,83	45,7	109,00	3,54		
110	150,0	174,9	11,63	0,880	29,7	3,81	45,9	110,00	3,70		
					Mittel	3,82	45,8	109,50	3,62	—	3,37
111	100,0	124,9	11,60	0,869	29,3	3,81	32,8	120,00	4,10		
112	100,0	124,9	11,63	0,879	29,7	3,81	32,8	146,00	4,92		
					Mittel	3,81	32,8	133,00	4,51	—	4,39
113	50,0	74,9	11,70	0,836	28,5	3,85	19,5	177,00	6,21		
114	50,0	74,9	11,70	0,880	29,5	3,84	19,5	174,00	5,90		
					Mittel	3,85	19,5	175,50	6,06	—	5,62
115	20,0	44,9	11,60	0,918	30,1	3,79	11,8	192,00	6,38		
116	20,0	44,9	11,70	0,988	33,2	3,80	11,8	222,00	6,69		
					Mittel	3,80	11,8	207,00	6,54	—	6,41

2. Serie: Säulenguss.

Nomineller, *innerer Durchmesser:* 12,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*

117	400,0	424,9	13,78	0,938	37,8	4,55	93,4	41,10	1,09		
118	400,0	424,9	13,73	0,868	35,0	4,56	93,2	41,31	1,18		
					Mittel	4,56	93,3	41,21	1,14	1,13	—
119	350,0	374,9	13,73	0,932	37,5	4,53	82,8	58,90	1,57		
120	350,0	374,9	13,78	0,982	39,5	4,54	82,6	54,40	1,38		
					Mittel	4,54	82,7	56,65	1,48	1,44	—
121	300,0	324,9	13,65	0,973	39,2	4,49	72,4	62,10	1,59		
122	300,0	324,9	13,73	0,918	36,9	4,54	71,6	68,20	1,85		
					Mittel	4,52	72,0	65,15	1,72	—	1,87
123	250,0	274,9	13,73	0,910	35,7	4,55	60,4	89,00	2,49		
124	250,0	274,9	13,70	0,898	36,1	4,54	60,6	93,13	2,58		
					Mittel	4,55	60,5	91,07	2,54	—	2,44

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
125	200,0	224,9	13,75	0,908	36,6	4,55	49,4	97,50	2,66		
126	200,0	224,9	13,65	0,870	35,4	4,52	49,8	100,00	2,83		
					Mittel	4,54	49,6	98,75	2,75	—	3,11
127	150,0	174,9	13,70	0,928	37,2	4,53	38,6	124,00	3,33		
128	150,0	174,9	13,73	0,913	36,8	4,54	38,5	130,50	3,56		
					Mittel	4,54	38,6	127,25	3,45	—	3,92
129	100,0	124,9	13,75	0,928	37,3	4,55	27,5	151,00	4,05		
130	100,0	124,9	13,70	0,866	34,9	4,55	27,5	172,00	4,93		
					Mittel	4,55	27,5	162,00	4,49	—	4,86
131	50,0	74,9	13,73	0,833	33,7	4,57	16,4	215,00	6,38		
132	50,0	74,9	13,70	0,881	35,5	4,54	16,5	221,00	6,23		
					Mittel	4,56	16,5	218,00	6,31	—	5,92
133	20,0	44,9	13,73	0,923	37,3	4,54	9,9	228,00	6,11		
134	20,0	44,9	13,80	0,906	36,5	4,57	9,8	244,50	6,70		
					Mittel	4,56	9,9	236,25	6,41	—	6,62
					2. Serie: Röhrenguss.						
					Nomineller, *innerer Durchmesser:* 15,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
135	400,0	424,9	16,63	0,932	45,9	5,56	76,4	74,10	1,61		
136	400,0	424,9	16,65	0,875	43,3	5,59	76,0	61,40	1,42		
					Mittel	5,58	76,2	67,75	1,52	—	1,70
137	350,0	374,9	16,63	0,930	45,8	5,56	67,4	81,48	1,78		
138	350,0	374,9	16,70	0,945	46,7	5,58	67,2	75,00	1,61		
					Mittel	5,57	67,3	78,24	1,60	—	2,08
139	300,0	324,9	16,73	0,990	48,9	5,57	58,3	100,05	2,05		
140	300,0	324,9	16,65	0,958	47,2	5,56	58,4	95,00	2,01		
					Mittel	5,57	58,4	97,53	2,03	—	2,56
141	250,0	274,9	16,65	0,925	45,7	5,57	49,4	130,00	2,85		
142	250,0	274,9	16,60	0,865	42,7	5,57	49,4	133,00	3,12		
					Mittel	5,57	49,4	131,50	2,99	—	3,12

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
143	200,0	224,9	16,60	0,875	43,2	5,57	40,4	143,00	3,31		
144	200,0	224,9	16,63	0,863	42,7	5,58	40,3	153,00	3,58		
					Mittel	5,58	40,4	148,00	3,45	—	3,78
145	150,0	174,9	16,63	0,829	41,1	5,59	31,5	162,00	3,94		
146	150,0	174,9	16,53	0,850	41,8	5,55	31,5	167,00	4,00		
					Mittel	5,57	31,5	164,50	3,97	—	4,51
147	100,0	124,9	16,63	0,922	45,5	5,56	22,5	200,00	4,40		
148	100,0	124,9	16,63	0,920	45,4	5,56	22,5	205,90	4,54		
					Mittel	5,56	22,5	202,95	4,47	—	5,33
149	50,0	74,9	16,60	0,844	41,8	5,58	13,4	252,00	6,03		
150	50,0	74,9	16,63	0,866	43,0	5,58	13,4	253,50	5,90		
					Mittel	5,58	13,4	252,75	5,97	—	6,25
151	20,0	44,9	16,60	0,771	38,3	5,60	8,0	220,00	5,74		
152	20,0	44,9	16,60	0,830	41,1	5,58	8,0	257,00	6,25		
					Mittel	5,59	8,0	238,50	6,00	—	6,83

4. Serie: Röhrenguss.

Nomineller, *innerer Durchmesser:* 10,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm*.

153	400,0	424,9	11,70	0,837	28,6	3,85	110,4	21,88	0,77		
154	400,0	424,9	11,60	0,812	27,5	3,82	108,6	22,44	0,82		
					Mittel	3,84	109,5	22,16	0,80	0,82	—
155	350,0	374,9	11,73	0,875	29,8	3,85	97,4	34,55	1,16		
156	350,0	374,9	11,70	0,902	30,6	3,83	97,9	34,65	1,13		
					Mittel	3,84	97,7	34,60	1,15	1,03	—
157	300,0	324,9	11,68	0,890	30,1	3,83	84,8	45,00	1,50		
158	300,0	324,9	11,68	0,912	30,8	3,82	85,1	41,01	1,33		
					Mittel	3,83	85,0	43,01	1,42	1,37	—
159	250,0	274,9	11,70	0,865	29,4	3,84	71,6	70,00	2,38		
160	250,0	274,9	11,70	0,863	29,4	3,84	71,6	60,00	2,04		
					Mittel	3,84	71,6	65,00	2,21	—	1,89

Lauf. No.	Ursprl. Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung $t\,cm^2$ nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung $t\,cm^2$ nach Tetmajer β_k
161	200,0	224,9	11,60	0,825	27,9	3,82	58,9	69,25	2,48		
162	200,0	224,9	11,68	0,803	27,4	3,85	58,4	80,50	2,94		
					Mittel	3,84	58,7	74,88	2,71	—	2,55
163	150,0	174,9	11,70	0,920	31,2	3,83	45,7	109,00	3,49		
164	150,0	174,9	11,70	0,868	29,6	3,84	45,5	110,50	3,73		
					Mittel	3,84	45,6	109,75	3,61	—	3,39
165	100,0	124,9	11,63	0,859	29,0	3,82	32,7	150,00	5,17		
166	100,0	124,9	11,70	0,959	32,3	3,81	32,8	172,00	5,33		
					Mittel	3,82	32,8	161,00	5,25	—	4,39
167	50,0	74,9	11,68	0,870	29,5	3,83	19,6	180,00	6,10		
168	50,0	74,9	11,65	0,846	28,7	3,83	19,6	204,00	7,11		
					Mittel	3,83	19,6	192,00	6,61	—	5,61
169	20,0	44,9	11,60	0,841	28,4	3,82	11,8	192,00	6,76		
170	20,0	44,9	11,75	0,885	30,2	3,85	11,7	213,00	7,05		
					Mittel	3,84	11,8	202,50	6,91	—	6,41

5. *Serie: Röhrenguss.*

Nomineller, *innerer Durchmesser:* 12,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*

171	400,0	424,9	13,70	0,950	38,1	4,52	94,0	42,00	1,10		
172	400,0	424,9	13,70	0,865	34,9	4,55	93,4	43,50	1,25		
					Mittel	4,54	93,7	42,75	1,18	1,12	—
173	350,0	374,9	13,75	0,928	37,3	4,55	82,4	60,00	1,61		
174	350,0	374,9	13,70	0,940	37,7	4,52	82,9	54,55	1,45		
					Mittel	4,54	82,7	57,28	1,53	1,47	—
175	300,0	324,9	13,70	0,938	37,6	4,52	71,9	69,80	1,86		
176	300,0	324,9	13,78	0,913	36,9	4,56	71,3	68,20	1,85		
					Mittel	4,54	71,6	69,00	1,86	—	1,89
177	250,0	274,9	13,70	0,920	36,9	4,53	60,7	89,63	2,43		
178	250,0	274,9	13,78	0,943	38,0	4,55	60,4	89,70	2,36		
					Mittel	4,54	60,6	89,67	2,40	—	2,44

Lauf. No.	Urspr. Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
179	200,0	224,9	13,70	0,870	35,0	4,55	49,4	109,60	3,13		
180	200,0	224,9	13,70	0,853	34,4	4,55	49,4	119,50	3,47		
					Mittel	4,55	49,4	114,55	3,30	—	3,12
181	150,0	174,9	13,70	0,810	32,8	4,57	38,3	121,25	3,70		
182	150,0	174,9	13,65	0,848	34,1	4,54	38,5	129,50	3,80		
					Mittel	4,56	38,4	125,38	3,75	—	4,03
183	100,0	124,9	13,70	0,845	34,1	4,56	27,5	177,00	5,19		
184	100,0	124,9	13,70	0,846	34,2	4,55	27,5	195,00	5,70		
					Mittel	4,56	27,5	181,00	5,45	—	4,86
185	50,0	74,9	13,70	—	—	—	—	(150,00)	(?)		
186	50,0	74,9	13,70	0,893	35,9	4,54	16,5	232,00	6,46		
					Mittel	4,54	16,5	232,00	6,46	—	5,92
187	20,0	44,9	13,70	0,918	36,8	4,53	9,9	267,00	7,26		
188	20,0	44,9	13,75	0,940	37,8	4,54	9,9	234,00	6,19		
					Mittel	4,54	9,9	250,50	6,73	—	6,62

6. Serie: Röhrenguss.

Nomineller, *innerer Durchmesser:* 15,0 *cm*; *Wandstärke:* 0,8 *cm.*

189	400,0	424,9	16,68	0,863	42,8	5,60	75,9	80,93	1,89		
190	400,0	424,9	16,60	0,995	48,8	5,53	76,8	77,25	1,58		
					Mittel	5,57	76,4	79,09	1,74	—	1,68
191	350,0	374,9	16,68	0,993	48,9	5,56	67,4	88,25	1,81		
192	350,0	374,9	16,65	0,803	39,9	5,61	66,8	83,83	2,10		
					Mittel	5,59	67,1	86,04	1,96	—	2,10
193	300,0	324,9	16,70	1,000	49,3	5,56	58,4	115,00	2,33		
194	300,0	324,9	16,65	0,970	47,8	5,56	58,4	105,05	2,22		
					Mittel	5,56	58,4	110,03	2,28	—	2,56
195	250,0	274,9	16,60	0,900	44,4	5,56	49,4	130,00	2,93		
196	250,0	274,9	16,60	0,950	46,7	5,54	49,6	135,00	2,89		
					Mittel	5,55	49,5	132,50	2,91	—	3,12

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung $t\,cm^2$ nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung $t\,cm^2$ nach Tetmajer β_k
197	200,0	224,9	16,63	0,863	42,7	5,58	40,3	152,00	3,56		
198	200,0	224,9	16,70	0,931	46,1	5,59	40,2	157,00	3,41		
					Mittel	5,59	40,3	154,50	3,49	—	3,78
199	150,0	174,9	16,55	0,888	43,6	5,55	31,5	170,00	3,90		
200	150,0	174,9	16,60	0,908	46,2	5,55	31,5	209,00	4,52		
					Mittel	5,55	31,5	189,50	4,21	—	4,51
201	100,0	124,9	16,73	0,998	49,3	5,57	22,4	242,50	4,92		
202	100,0	124,9	16,65	0,975	48,0	5,55	22,5	227,00	4,73		
					Mittel	5,56	22,5	234,75	4,83	—	5,33
203	50,0	74,9	16,60	0,845	41,8	5,58	13,4	237,00	5,67		
204	50,0	74,9	16,65	0,900	44,1	5,53	13,5	289,50	6,57		
					Mittel	5,56	13,5	263,25	6,12	—	6,24
205	20,0	44,9	16,65	0,884	43,7	5,58	8,0	285,00	6,52		
206	20,0	44,9	16,70	0,841	41,9	5,62	8,0	270,00	6,44		
					Mittel	5,60	8,0	277,50	6,48	—	6,83
					7. Serie: Gewöhnlicher Guss.						
					Nomineller, *innerer Durchmesser*: 10,0 *cm*; *Wandstärke*: 0,8 *cm*.						
207	400,0	424,9	11,75	0,895	30,5	3,85	110,4	24,64	0,81		
208	400,0	424,9	11,70	0,838	28,6	3,85	110,4	23,38	0,82		
					Mittel	3,85	110,4	24,01	0,82	0,81	—
209	350,0	374,9	11,63	0,808	27,4	3,84	97,6	32,50	1,19		
210	350,0	374,9	11,65	0,915	30,8	3,81	98,4	44,25	1,44		
					Mittel	3,83	98,0	38,38	1,32	1,03	—
211	300,0	324,9	11,60	0,888	29,9	3,80	85,5	40,53	1,36		
212	300,0	324,9	11,68	0,775	26,5	3,86	84,2	36,38	1,37		
					Mittel	3,83	84,9	38,46	1,37	1,37	—
213	250,0	274,9	11,60	0,825	27,9	3,82	72,0	62,50	2,24		
114	250,0	274,9	11,70	0,815	27,9	3,86	71,2	65,00	2,33		
					Mittel	3,84	71,6	63,75	2,29	—	1,80

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
215	200,0	224,9	11,60	0,850	28,7	3,81	59,0	73,25	2,55		
216	200,0	224,9	11,60	0,795	27,0	3,83	58,7	74,70	2,77		
					Mittel	3,82	58,9	73,98	2,66	—	2,53
217	150,0	174,9	11,60	0,845	28,6	3,81	45,9	114,00	3,99		
218	150,0	174,9	11,70	0,880	29,9	3,84	45,5	114,00	3,81		
					Mittel	3,83	45,7	114,00	3,90	—	3,39
219	100,0	124,9	11,58	0,825	27,8	3,81	32,8	126,50	4,55		
220	100,0	124,9	11,60	0,850	28,8	3,81	32,8	137,50	4,77		
					Mittel	3,81	32,8	132,00	4,66	—	4,39
221	50,0	74,9	11,65	0,825	28,1	3,84	19,5	152,00	5,41		
222	50,0	74,9	11,68	0,791	28,1	3,85	19,5	186,00	6,26		
					Mittel	3,85	19,5	169,00	6,02	—	5,62
223	20,0	44,9	11,65	0,801	27,4	3,85	11,7	201,00	7,35		
224	20,0	44,9	11,65	0,799	27,3	3,85	11,7	213,00	7,78		
					Mittel	3,85	11,7	207,00	7,57	—	6,43

8. Serie: Gewöhnlicher Guss.

Nomineller, *innerer Durchmesser*: 12.0 *cm*; *Wandstärke*: 0,8 *cm*.

225	400,0	424,9	13,73	0,925	37,2	4,54	93,6	39,69	1,07		
226	400,0	424,9	13,78	0,883	35,7	4,57	93,0	44,28	1,24		
					Mittel	4,56	93,3	41,99	1,16	1,10	—
227	350,0	374,9	13,75	0,888	35,8	4,56	82,2	56,35	1,57		
228	350,0	374,9	13,70	0,918	36,8	4,53	82,8	55,00	1,50		
					Mittel	4,55	82,5	55,68	1,54	1,45	—
229	300,0	324,9	13,70	0,955	38,2	4,52	71,9	63,85	1,67		
230	300,0	324,9	13,75	0,950	38,2	4,54	71,6	62,95	1,65		
					Mittel	4,53	71,8	63,40	1,66	1,87	—
231	250,0	274,9	13,73	0,858	34,7	4,56	60,3	93,00	2,68		
232	250,0	274,9	13,75	0,938	34,0	4,58	60,0	87,75	2,58		
					Mittel	4,57	60,2	90,38	2,63	—	2,46

Lauf. No.	Ursprüngliche Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
233	200,0	224,9	13,65	0,850	34,2	4,55	49,4	119,00	3,48		
234	200,0	224,9	13,75	0,868	35,1	4,57	49,2	121,00	3,45		
					Mittel	4,56	49,3	120,00	3,47	—	3,13
235	150,0	174,9	13,78	0,924	37,3	4,56	38,4	127,00	3,41		
236	150,0	174,9	13,73	0,825	33,4	4,57	38,3	133,00	3,98		
					Mittel	4,57	38,4	130,00	3,70	—	3,83
237	100,0	124,9	13,63	0,864	34,6	4,52	27,6	178,00	5,15		
238	100,0	124,9	13,75	0,843	34,1	4,57	27,3	213,00	6,25		
					Mittel	4,55	27,5	195,50	5,70	—	4,86
239	50,0	74,9	13,70	0,865	34,9	4,55	16,5	216,00	6,19		
240	50,0	74,9	13,70	0,880	35,4	4,54	16,5	242,00	6,84		
					Mittel	4,55	16,5	229,00	6,52	—	5,92
241	20,0	44,9	13,70	0,831	33,6	4,56	9,9	253,50	7,55		
242	20,0	44,9	13,65	0,856	34,4	4,53	9,9	213,00	6,19		
					Mittel	4,55	9,9	233,25	6,87	—	6,62
					9. Serie: Gewöhnlicher Guss.						
					Nomineller, *innerer Durchmesser:* 15,0 *cm; Wandstärke:* 0,8 *cm.*						
243	400,0	424,9	16,65	0,910	45,0	5,57	76,3	69,90	1,55		
244	400,0	424,9	16,63	0,943	46,4	5,56	76,4	72,95	1,57		
					Mittel	5,57	76,4	71,40	1,56	—	1,38
545	350,0	374,9	16,65	0,858	42,5	5,59	67,1	83,03	1,95		
246	350,0	374,9	16,65	0,848	42,1	5,60	67,0	83,25	1,98		
					Mittel	5,60	67,1	83,14	1,97	—	2,20
247	300,0	324,9	16,58	0,838	41,4	5,57	58,3	103,30	2,50		
248	300,0	324,9	16,60	0,875	43,2	5,57	58,3	96,95	2,24		
					Mittel	5,57	58,3	100,13	2,37	—	2,66
249	250,0	274,9	16,63	0,868	42,9	5,58	49,3	126,75	2,95		
250	250,0	274,9	16,63	0,855	42,3	5,58	49,3	134,80	3,19		
					Mittel	5,58	49,3	130,78	3,07	—	3,13

Lauf. No.	Ursprl. Rohrlänge l_0 cm	Wirksame Rohrlänge l cm	Mittl. äusserer Durchmesser d cm	Mittlere Wandstärke s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut N t	Beobachtete Knickungskraft t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
251	200,0	224,9	16,60	0,864	42,7	5,57	40,4	163,00	3,82		
252	200,0	224,9	16,60	0,865	42,7	5,57	40,4	175,00	4,10		
					Mittel	5,57	40,4	169,00	3,96	—	3,78
253	150,0	174,9	16,55	0,779	38,6	5,58	31,3	191,00	4,95		
254	150,0	174,9	16,68	0,838	41,6	5,61	31,2	195,00	4,69		
					Mittel	5,60	31,3	193,00	4,82	—	4,52
255	100,0	124,9	16,63	0,903	44,6	5,57	22,4	255,00	5,72		
256	100,0	124,9	16,68	0,838	41,6	5,61	22,3	235,00	5,65		
					Mittel	5,59	22,4	245,00	5,69	—	5,34
257	50,0	74,9	16,60	0,838	41,5	5,58	13,4	240,00	5,78		
258	50,0	74,9	16,60	0,868	42,9	5,57	13,5	267,00	6,22		
					Mittel	5,58	13,5	253,50	6,00	—	6,24
959	20,0	44,9	16,60	0,788	39,1	5,60	8,0	268,50	6,87		
260	20,0	44,9	16,60	0,780	38,7	5,60	8,0	278,00	7,18		
					Mittel	5,60	8,0	273,25	7,03	—	6,83

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Stabmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
Diener & Co., Zürich.											
1. Serie: Gewöhnlicher Guss).*											
Massige Vierkantstäbe mit nominell 3,0×3,0 *cm* Querschnitt; *Spitzenlagerung.*											
261	159,3	173,0	2,98	3,01	8,97	0,86	201,0	2,60	0,29		
262	159,2	172,9	2,98	2,98	8,88	0,86	201,0	2,75	0,31		
					Mittel	0,86	201,0	2,68	0,30	0,24	—
263	137,8	151,5	2,98	2,99	8,91	0,86	176,0	3,30	0,37		
264	137,7	151,4	2,91	3,02	8,79	0,84	180,0	3,25	0,37		
					Mittel	0,85	178,0	3,28	0,37	0,31	—
265	116,2	129,9	3,01	3,02	9,09	0,87	149,0	4,45	0,49		
266	116,1	129,8	2,98	2,99	8,91	0,86	151,0	4,90	0,55		
					Mittel	0,87	150,0	4,68	0,52	0,43	—
267	105,1	118,9	2,91	3,01	8,76	0,84	141,5	4,20	0,48		
268	107,6	121,3	2,98	3,01	8,97	0,86	141,0	4,30	0,48		
					Mittel	0,85	141,3	4,25	0,48	0,52	—
269	94,4	108,1	2,91	3,02	8,79	0,84	129,0	6,75	0,77		
270	94,4	108,1	2,98	3,04	9,06	0,86	126,0	6,80	0,75		
					Mittel	0,85	127,5	6,78	0,76	0,61	—
271	88,5	102,2	2,94	2,96	8,70	0,85	120,2	5,65	0,65		
272	89,8	103,5	2,98	3,03	9,03	0,86	120,3	5,50	0,61		
					Mittel	0,86	120,3	5,58	0,63	0,68	—
273	72,8	86,5	3,04	3,04	9,24	0,88	98,0	11,80	1,28		
274	72,8	86,5	3,14	3,16	9,91	0,91	95,0	10,90	1,10		
					Mittel	0,90	96,5	11,35	1,19	1,06	—
275	51,1	64,8	2,87	2,88	8,27	0,83	78,0	14,50	1,76		
276	51,2	64,9	2,91	2,92	8,50	0,84	77,0	13,60	1,60		
					Mittel	0,84	77,5	14,05	1,68	—	1,64
277	29,6	43,3	2,87	2,91	8,35	0,83	52,0	22,20	2,66		
278	29,6	43,3	2,91	2,91	8,47	0,84	51,5	22,30	2,64		
					Mittel	0,84	51,8	22,25	2,65	—	2,96

*) Ausgeführt auf der *Werder*'schen Maschine in Zürich.

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Querschnittsabmessungen in der Stabmitte b cm	s cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickungskraft absolut $N t$	t/cm^2 β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Tetmajer β_k
2. Serie: Gewöhnlicher Guss. Massige Vierkantstäbe mit nominell 3,0×3,0 cm Querschnitt; *Flächenlagerung.* Nachstehende Zahlenwerte sind berechnet für eine freie Knicklänge: $l = \frac{1}{1{,}9} l_0$											
279	259,1	136,4	3,01	3,03	9,12	0,87	156,8	3,75	0,41		
280	259,3	136,5	2,97	3,00	8,91	0,86	158,7	3,75	0,42		
					Mittel	0,87	157,8	3,75	0,42	0,39	—
281	237,7	125,1	3,01	3,04	9,15	0,87	143,8	4,30	0,47		
282	237,9	125,2	3,01	3,03	9,12	0,87	143,9	4,55	0,50		
					Mittel	0,87	143,9	4,43	0,49	0,47	—
283	216,0	113,7	3,01	3,04	9,15	0,87	130,7	5,50	0,60		
284	216,1	113,7	2,94	2,95	8,67	0,85	133,8	4,85	0,56		
					Mittel	0,86	132,3	5,13	0,58	0,56	—
285	194,6	102,5	3,01	3,04	9,15	0,87	117,8	6,50	0,71		
286	194,6	102,5	3,11	3,11	9,67	0,90	113,9	7,35	0,76		
					Mittel	0,89	115,9	6,93	0,74	0,73	—
287	172,3	90,7	3,08	3,10	9,55	0,89	101,9	9,20	0,96		
288	172,5	90,8	3,04	3,10	9,42	0,88	103,2	8,80	0,93		
					Mittel	0,89	102,6	9,00	0,95	0,93	—
289	151,3	79,6	3,08	3,12	9,61	0,89	89,4	11,50	1,20		
290	151,5	79,7	3,04	3,10	9,42	0,88	90,6	11,70	1,24		
					Mittel	0,89	90,0	11,60	1,22	1,21	—
291	129,8	68,3	3,08	3,10	9,55	0,89	76,7	15,20	1,59		
292	129,7	68,3	3,11	3,11	9,67	0,90	75,9	14,70	1,52		
					Mittel	0,90	76,3	14,95	1,56	—	1,69
293	108,0	56,8	3,11	3,12	9,70	0,90	63,1	21,00	2,16		
294	108,0	56,8	3,04	3,06	9,30	0,88	64,5	19,95	2,15		
					Mittel	0,89	63,8	20,48	2,16	—	2,26
295	86,4	45,5	3,04	3,06	9,30	0,88	51,7	25,00	2,69		
296	86,3	45,4	3,04	3,10	9,42	0,88	51,6	25,60	2,72		
					Mittel	0,88	51,7	25,30	2,71	-	2,98

Die beigeheftete Tafel III enthält die graphische Darstellung der gewonnenen Resultate. Nach wie vor sind als Abscissen des orthogonalen Coordinatensystems die massgebenden Längenverhältnisse ($l : i$), als Ordinaten in t/cm^2 diejenigen mittleren, spezifischen Pressungen eingetragen, bei welchen der Verlust des Tragvermögens eingetreten ist. Als freie Knickungslänge = der wirksamen Stablänge, wurde der Körnerabstand, vrgl. Fig. 14 bezw. 15, somit

$$l = l_0 + 2a$$

in Rechnung gestellt.

In Tafel III wurden eingetragen:

1. *Sämtliche Einzelversuche,* ausgeführt an Rohrabschnitten von Brebach, Carels-frères und Choindez.

2. *Mittelwerte aus je 2 Versuchen,* ausgeführt an rektangulären, massiven Barren, geliefert von der Giesserei der Herren Diener & Co. in Zürich.

3. *Die Gruppenmittel* für die Längenverhältnisse

$\frac{l}{i}$ =	0	bis einschliesslich	9;	$\frac{l}{i}$ =	46	bis einschliesslich	50;
=	9	» »	10;	=	50	» »	60;
=	10	» »	12;	=	60	» »	65;
=	12	» »	15;	=	65	» »	69;
=	15	» »	17;	=	69	» »	75;
=	17	» »	20;	=	75	» »	80;
=	20	» »	25;	=	80	» »	90;
=	25	» »	30;	=	90	» »	95;
=	30	» »	35;	=	95	» »	100;
=	35	» »	44;	=	100	» »	115.
=	44	» »	46;				

Die Ergebnisse unserer Versuche lassen sich nun folgendermassen zusammenfassen:

1. Das Material unserer Knickungsproben mit gusseisernen Stäben ist sowohl bezüglich dessen chemischer Zusammensetzung als auch der physikalischen Eigenschaften verschiedenartig und verschiedenwertig.

2. Die chemische Analyse der Rohrscherben, ausgeführt im Laboratorium der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt, ergab:

an Graphit;	gebund. C.;	Mangan;	Silicium;	Phosphor;	Schwefel.
Für *Brebacher-Eisen:* Marke R (Röhrenguss)					
2,684 %;	0,781 %;	0,346 %;	1,334 %;	1,470 %;	0,058 %.
Marke S (Säulenguss)					
2,678 »	0,910 »	0,601 »	1,691 »	1,103 »	0,077 »
Marke RL (gewöhnlicher Guss)					
2,536 »	0,758 »	0,364 »	2,418 »	1,717 »	0,052 »
Für *Carels-frères-Eisen:*					
2,600 »	0,600 »	0,437 »	2,394 »	1,725 »	0,035 »
Für *Choindez-Eisen:*					
2,503 »	1,128 »	0,373 »	1,640 »	1,096 »	0,065 »

3. Die Gütebiege- und Zerreissproben, ausgeführt an vorschriftsgemäss gegossenen Barren von 3,0×3,0 cm Querschnitt (vergl. die Konferenz-Beschlüsse München-Berlin) *ergaben:*

an Biegungsarbeit;	Durchbiegung;	Biegungsfestigkeit;	Zugfestigkeit;	Druckfestigkeit.
Für *Brebacher-Eisen:* (Mittelwerte aus 6 Versuchen) Marke R (Röhrenguss)				
0,42 *cm t*;	1,52 *cm*;	2,60 *t/cm²*;	1,78 *t/cm²*;	8,09 *t/cm²*.
Marke S (Säulenguss)				
0,46 »	1,60 »	2,70 »	1,77 »	8,39 »
Marke RL (gewöhnlicher Guss)				
0,38 »	1,40 »	2,54 »	1,77 »	8,22 »
Für *Choindez-Eisen:* (Mittel aus 4 Versuchen).				
0,51 »	1,94 »	2,33 »	1,43 »	6,20 »
Für *Gusseisen von Diener & Co.:*				
0,62 »	1,83 »	2,75 »	1,64 »	7,88 »

Spähne der den Gütebiegeproben unterworfenen Barren ergaben folgende Zusammensetzungen:

Graphit;	gebund. C.;	Mangan;	Silicium;	Phosphor;	Schwefel.
Für *Brebacher-Eisen:* Marke R (Röhrenguss)					
2,771 %;	0,820 %;	0,433 %;	1,504 %;	1,364 %;	0,080 %.
Marke S (Säulenguss)					
2,679 »	1,002 »	0,546 »	1,455 »	0,978 »	0,082 »
Marke RL (gewöhnlicher Guss)					
2,605 »	0,660 »	0,355 »	2,307 »	1,712 »	0,052 »
Für *Choindez-Eisen:*					
2,996 »	0,999 »	0,275 »	1,239 »	0,744 »	0,043 »
Für *Gusseisen von Diener & Co.:*					
2,890 »	0,680 »	0,459 »	1,961 »	0,653 »	0,100 »

4. Die Beobachtung lehrt und bestätigt die graphische Darstellung der Versuchsresultate (vergl. Tafel III) die Erfahrung, dass das Gusseisen in der erweiterten Druckprobe weder eine sprungweise Änderung des gesetzmässigen Verlaufs der Tragkräfte an der Grenze, noch eine deutlich ausgeprägte Verschiedenheit im Charakter der Formänderungen zeigt. Der Verlauf des Linienzuges, welcher die Gruppenmittel verbindet, ist ein parabolischer; eine Wendetangente, die die Verwendung einer Funktion, ähnlich der Schwarz-Rankine'schen Formel motivieren würde, liegt nicht vor und ist an und für sich unwahrscheinlich. Das beobachtete Verhalten des Gusseisens in der Druckprobe ist Folgewirkung der Gefügebeschaffenheit. Je graphitreicher das Eisen, je gröber und dünkler das Korn, je grösser unter gleichen Verhältnissen die bleibenden Formänderungen. *Eine bestimmte Elasticitäts- und Proportionalitätsgrenze besitzt das Gusseisen nicht, und da dasselbe dem Proportionalitätsgesetze auch nicht folgt, können die auf dem Proportionalitäts-Gesetze fussenden Formeln für das Gusseisen auch nicht stimmen; sie werden die herrschenden Spannungszustände nur näherungsweise zum Ausdrucke bringen.*

5. Gusseisen-Stäbe mit einem Längenverhältnis von ca. 80 nähern sich dem Charakter vorwiegend elastischer Körper; mit darüber hinaus wachsenden Längenverhältnissen der gedrückten Stäbe mildern sich die von den Gefügeverhältnissen des grauen Gusseisens herrührenden Abweichungen vom Elasticitäts- und Proportionalitätsgesetze des schmiedbaren Eisens, so dass für Gusseisen-Stäbe von $l:i >$ ca. 80 an die Euler'sche Knickungsformel auch für das mittel- nnd feinkörnige, graue Gusseisen benützt und die spezifische Knickspannung näherungsweise durch:

$$\beta_k = 9870{,}0 \left(\frac{i}{l}\right)^2$$

ausgedrückt werden darf.

6. Für Gusseisen-Stäbe mit Längenverhältnissen $l:i <$ ca. 80 passt die Euler'sche Formel nicht; die Mittelwerte der spezifischen Knickspannungen liegen, wie oben bereits angeführt wurde, um eine parabolische Kurve gruppiert; welche hinlänglich genau durch die Gleichung:

$$\beta_k = 0{,}00053 \left(\frac{l}{i}\right)^2 - 0{,}120 \frac{l}{i} + 7{,}76$$

in t/cm^2 ausgedrückt wird.

7. Ist F in cm^2 der Querschnittsinhalt eines centrisch axial belasteten Gusseisen-Stabes, so wird seine Tragkraft an der Grenze, bei welcher Bruch eintritt, ausreichend genau durch folgende Formelgruppen ausgedrückt:

für Stäbe mit Längenverhältnissen: $\frac{l}{i}$ = ca. 5 bis 80:

$$N = \beta_k F = \left[0{,}00053 \left(\frac{l}{i}\right)^2 - 0{,}120 \frac{l}{i} + 7{,}76\right] \text{F};$$

für Stäbe mit Längenverhältnissen $\frac{l}{i} > 80$:

$$N = \beta_k F = 9870{,}0 \left(\frac{i}{l}\right)^2 \text{F}.$$

8. *Unter zu Grundelegung einer mittleren Druckfestigkeit des grauen Gusseisens im Betrage von:*

$$\beta_d = 7{,}76 \; t/cm^2 *)$$

und bei Berücksichtigung vorstehender Grundformeln liefert die Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel

$$\beta_k = \frac{\beta_d}{1 + \eta \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

folgende Werte des Knickungskoeffizienten η:

für $\frac{l}{i}$ = 10	wird	η = 0,00175;	für $\frac{l}{i}$ = 90	wird	η = 0,00066;
= 20	»	= » 098;	= 100	»	= » 68;
= 30	»	= » 075;	= 110	»	= » 70;
= 40	»	= » 065;	= 120	»	= » 71;
= 50	»	= » 061;	= 130	»	= » 73;
= 60	»	= » 060;	= 140	»	= » 74;
= 70	»	= » 060;	= 150	»	= » 74;
= 80	»	= » 063;	u. s. w.		

*) Mit Bezug auf den Zahlenwert: 7,76 vergleiche die auch hier zutreffende Fussbemerkung auf Seite 112. Diese ist keine Würfelfestigkeit und hervorgegangen aus der Gleichung:

$$\beta_k = 0{,}00053 \left(\frac{l}{i}\right)^2 - 0{,}120 \left(\frac{l}{i}\right) + 7{,}76$$

für $\frac{l}{i} = 0$.

Aus vorstehenden Zahlenreihen geht hervor, dass der Koeffizient η der *Schwarz-Rankine*'schen Formel selbst für das, dem Proportionalitätsgesetze nicht folgende *Gusseisen* nicht *constant* sei. Für Längenverhältnisse $\frac{l}{i} > 30$ ist indessen die Abweichung der Werte von η belanglos; dies der Grund, dass die Rechnungs-Resultate nach *Schwarz-Rankine* (für $\sigma_d = 7{,}76\ t/cm^2$ und $\eta = 0{,}00068$) und unseren vorstehenden Formeln befriedigend übereinstimmen; vrgl. nachstehende Zahlenwerte:

Für $\frac{l}{i} =$	Knickspannungen nach der Parabel-Gleichung $\beta_k\ t/cm^2$	Knickspannungen nach der Schwarz-Rankine $\beta_k\ t/cm^2$	Für $\frac{l}{i} =$	Knickspannungen nach der Euler'schen Formel $\beta_k\ t/cm^2$	Knickspannungen nach der Schwarz-Rankine $\beta_k\ t/cm^2$
30	4,84	4,81	100	0,99	0,99
40	3,81	3,72	110	0,82	0,84
50	3,09	2,87	120	0,69	0,72
60	2,47	2,25	130	0,58	0,62
70	1,96	1,79	140	0,54	0,54
80	1,55	1,45	160	0,39	0,42

Für das *Gusseisen*, für welches bei $\frac{l}{i} > 30$ die *Schwarz-Rankine*'sche Formel an der Grenze eine befriedigende Übereinstimmung mit den Versuchsresultaten zeigt, kann diese Formel nur den Wert einer empirischen Formel beanspruchen, die im Vergleiche mit unserer Parabel selbst der äussern Form nach keinen Vorzug besitzt. *Wir empfehlen indessen die Anwendung der Schwarz-Rankine'schen Formel aus dem Grunde nicht, weil für abweichende Werte des Zähler's (β_d) sich auch η ändert und der für die Grenze ($\beta_d = 7{,}76$) ermittelte Durchschnittswert von η für andere Werte von β_d keine Gültigkeit besitzen kann.*

III. Abteilung: Schweisseisen.

Lauf. No.	Stablänge Urspr. l_0 cm	Stablänge Wirksame l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickkraft t/cm^2 β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
1. Serie: Material der Burbacherhütte. Sämtliche Zahlen sind Mittelwerte aus 2 Versuchen.											
L-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 10. Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3{,}5\ t/cm^2$; $\lambda_2 = 17{,}0\ \%$; $c = 0{,}60\ cm\ t.$											
1	80	103	20,00	1,98	52,0	45,00	2,25	↗	↗	—	2,60
2	120	143	20,00	1,98	72,2	44,13	2,21	↗	↗	—	2,16
3	160	183	20,00	1,98	92,4	33,50	1,68	↗	↗	2,25	1,83
4	240	257	20,00	1,98	129,8	22,00	1,10	↗	↗	1,14	—
5	320	337	20,00	1,98	170,3	13,48	0,67	↖	↖	0,66	—
6	400	417	20,00	1,98	210,6	8,67	0,43	↖	↑	0,43	—
⊥-Eisen; Burbacher-Profil Nr. 27. Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3{,}34\ t/cm^2$; $\lambda_2 = 17{,}6\ \%$; $c = 0{,}59\ cm\ t.$											
7	90	113	24,8	1,91	59,2	49,87	2,01	⊥←	⊥→	—	2,38
8	140	163	24,8	1,91	85,3	45,00	1,81	→	→	2,66	1,95
9	190	213	24,8	1,91	111,5	36,75	1,48	→	←	1,55	1,52
10	270	287	24,8	1,91	150,3	21,20	0,86	→	←	0,85	—
11	350	367	26,0	2,02	181,7	14,38	0,55	→	→	0,58	—
12	430	447	26,0	2,02	221,2	10,34	0,40	→	→	0,39	—
⊏-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 14. Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3{,}75\ t/cm^2$; $\lambda_2 = 23{,}1\ \%$; $c = 0{,}87\ cm\ t.$											
13	80	103	20,3	1,75	58,2	50,13	2,47	⊏←	⊏←	—	2,39
14	120	143	20,3	1,75	81,7	43,13	2,12	←	←	—	2,01
15	160	183	20,3	1,75	114,6	33,38	1,64	→	←	1,78	1,63
16	240	257	20,3	1,75	146,9	17,22	0,86	→	→	0,89	—
17	320	337	20,3	1,75	192,5	11,63	0,57	←	→	0,52	—
18	400	417	20,3	1,75	238,2	7,65	0,39	→	→	0,34	—

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickkraft absolut N t	Beobachtete Knickkraft t/cm^2 β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
I-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 12. Qualitätsverhältnisse: $\beta_z = 3{,}69\ t/cm^2$; $\lambda_2 = 22{,}6\ \%$; $c = 0{,}83\ cm\ t$.											
19	50	73	14,20	1,22	59,8	35,63	2,51	I←	←	—	2,37
20	75	98	14,20	1,22	80,3	30,25	2,13	←	→	—	2,03
21	100	123	14,20	1,22	100,8	27,00	1,90	→	←	1,89	1,69
22	150	173	14,20	1,22	141,8	14,38	1,01	←	→	0,96	–
23	200	217	14,20	1,22	177,9	7,75	0,55	→	→	0,61	–
24	250	267	14,20	1,22	218,8	5,65	0,40	→	→	0,40	–
I-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 17.											
25	80	103	25,7	1,62	63,6	55,25	2,17	I←	I→	—	2,39
26	120	143	25,7	1,62	88,2	48,75	1,90	→	←	—	1,90
27	160	183	25,7	1,62	113,0	36,00	1,40	←	←	1,51	1,49
28	240	257	25,7	1,66	154,8	20,07	0,78	←	→	0,80	–
29	320	337	25,7	1,66	203,0	14,00	0,54	←	→	0,47	–
30	400	417	25,7	1,66	251,2	8,32	0,33	→	←	0,31	–
⌶-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: $d = 1{,}7\ cm$; Nietteilung: $t =$ ca. 70 $s = 55{,}0\ cm$; Verschwächung des Profils: $n = 11{,}5\ \%$.											
31	100	123	24,4	2,47	50,0	61,13	2,51	⌶←	⌶←	—	2,53
32	150	173	24,4	2,47	70,1	54,37	2,23	←	←	—	2,20
33	200	223	24,4	2,47	90,3	48,88	2,00	←	→	—	1,87
34	300	317	24,4	2,47	128,3	30,50	1,25	←	→	1,17	–
35	400	417	24,4	2,47	168,8	16,45	0,67	→	←	0,68	–
36	500	517	24,4	2,47	209,3	10,72	0,44	←	→	0,44	–

Lauf. No.	Ursprl. Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickkraft t/cm^2 β_k	Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
⧺-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 6a. Nietdurchmesser: $d = 1{,}4$ cm; Nietteilung: $t =$ ca. 73 $s = 44{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 12{,}3$ %.											
37	100	123	27,0	2,50	49,2	69,25	2,56	⧺↖	⧺→	—	2,54
38	150	173	27,0	2,50	69,2	57,75	2,14	→	→	—	2,21
39	200	223	27,0	2,50	89,2	42,71	1,58	→	→	2,42	1,88
40	300	317	27,0	2,50	126,8	28,00	1,04	→	→	1,20	—
41	400	417	27,0	2,50	166,8	18,53	0,69	→	←	0,69	—
42	500	517	27,0	2,50	206,8	11,92	0,44	↘	↗	0,45	—
╪-Eisen; Burbacher-Profil Nr. 16. Nietdurchmesser: $d = 1{,}7$ cm; Nietteilung: $t =$ ca. 56 $s = 45{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 10{,}2$ %.											
43	100	123	25,76	2,05	60,0	54,00	2,10	╪←	╪←	—	2,36
44	150	173	25,76	2,05	84,4	44,75	1,74	→	→	—	1,96
45	200	223	25,76	2,05	108,8	40,25	1,56	→	→	1,63	1,56
46	280	297	25,76	2,05	144,9	20,40	0,79	→	→	0,92	—
47	400	417	26,60	2,12	177,8	15,13	0,59	→	←	0,61	—
48	439	456	26,60	2,12	215,1	11,29	0,42	→	→	0,42	—
⊐-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: $d = 1{,}4$ cm; Nietteilung: $t =$ ca. 75 $s = 45{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 7{,}6$ %.											
49	80	103	21,8	2,00	51,5	51,63	2,37	⊐←	⊐←	—	2,50
50	120	143	21,8	2,00	71,5	46,75	2,14	→	→	—	2,17
51	160	183	21,8	2,00	91,5	39,25	1,80	←	→	—	1,85
52	240	257	21,8	2,00	128,5	22,82	1,05	←	→	1,17	—
53	320	337	21,8	2,00	168,5	14,50	0,66	→	←	0,68	—
54	400	417	21,8	2,00	208,5	9,44	0,43	→	→	0,44	—

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickkraft t/cm^2 β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
[-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 14.											
90	80	103	20,96	1,71	60,2	50,50	2,41	[→	[→	—	2,25
91	120	143	20,96	1,71	83,6	43,65	2,08	→	→	—	1,94
92	160	183	20,96	1,71	107,0	35,88	1,71	→	←	1,77	–
93	240	259	20,96	1,71	151,0	17,68	0,84	→	→	0,89	–
94	320	339	20,96	1,71	198,0	11,33	0,54	←	←	0,52	–
95	400	419	20,96	1,71	245,0	7,00	0,33	←	←	0,34	–
I-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 18.											
96	50	25,0*	29,34	1,71	14,6	84,50	2,89	I→	I→	—	2,84
97	75	37,5*	29,34	1,71	21,9	78,25	2,67	→	→	—	2,75
98	100	123,0	29,34	1,71	71,9	62,88	2,14	→	→	—	2,10
99	150	173,0	29,34	1,71	101,0	46,88	1,60	→	→	—	1,52
100	200	223,0	29,34	1,71	130,0	35,50	1,21	←	→	1,20	–
101	250	269,0	29,34	1,71	157,0	23,76	0,81	→	→	0,82	–
⊢-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: $d = 1{,}8$ cm; Nietteilung: $t =$ ca. 31 $s = 25{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 11{,}7\,\%$.											
102	100	123	24,8	2,47	50	56,00	2,26	⊢↗	⊢←	—	2,38
103	150	173	24,8	2,47	70	52,38	2,11	←	↗	—	2,12
104	200	223	24,8	2,47	90	49,75	2,01	↗	↗	—	1,95
105**	300	319	—	—	—	—	—	—	—	—	—
106	400	419	24,8	2,47	170	16.69	0,67	←	←	0,70	–
107	500	519	24,8	2,47	210	11,00	0,44	←	→	0,46	–

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.
**) Nicht ausgeführt.

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickkraft t/cm^2 β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
⊞-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 6. Nietdurchmesser: $d = 1{,}5$ cm; Nietteilung: $t =$ ca. 33 $s = 20{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 12{,}6\,\%$.											
108	100	123	28,72	2,43	50,6	67,75	2,36	⊞←	⊞→	—	2,37
109	150	173	28,72	2,43	71,2	56,88	1,98	→	→	—	2,10
110	200	219	28,72	2,43	90,1	44,00	1,53	↑	←	—	1,86
111	300	319	28,72	2,43	131,0	26,25	0,91	↓	→	1,18	—
112	400	419	28,72	2,43	172,0	17,44	0,61	→	→	0,68	—
113	500	519	28,72	2,43	214,0	11,56	0,40	↗	→	0,44	—
⊟-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 9 : 4½. Nietdurchmesser: $d = 1{,}5$ cm; Nietteilung: $t =$ ca. 20 $s = 16{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 11{,}4\,\%$.											
114*	60	30	20,98	1,48	20,3	58,50	2,79	⊟→	⊟→	—	2,77
115	90	113	20,98	1,48	76,3	37,88	1,81	←	→	—	2,04
116	120	143	20,98	1,48	96,7	35,75	1,71	→	→	—	1,77
117	180	199	20,98	1,48	135,0	22,90	1,09	←	→	1,11	—
118	240	259	20,98	1,48	162,0	15,30	0,73	→	←	0,77	—
119	300	319	20,98	1,48	216,0	9,50	0,45	←	→	0,43	—
⊐-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: $d = 1{,}5$ cm; Nietteilung: $t =$ ca. 27 $s = 16{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 8{,}3\,\%$.											
120*	80	40	21,76	1,92	20,8	59,25	2,72	⊐→	⊐→	—	2,76
121	120	143	21,76	1,92	74,5	50,13	2,30	→	→	—	2,06
122	160	183	21,76	1,92	95,3	40,37	1,86	→	→	—	1,79
123	240	259	21,76	1,92	135,0	25,40	1,17	→	→	1,11	—
124	320	339	21,76	1,92	177,0	14,50	0,67	←	→	0,65	—
125	400	419	21,76	1,92	218,0	9,44	0,43	→	→	0,43	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

IV. Abteilung: Flusseisen.

Lauf. No.	Urspr. Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N t$	Beobachtete Knickkraft t/cm^2 β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
5. Serie: Rundeisen von de Wendel & Co., Hayange. Nachstehende Zahlen entsprechen je einem Versuche.											
126*	8,1	—	6,07	(d=2,79)	—	39,00	c. 6,42	—	—	—	—
127	8,3	22,0	6,11	0,697	31,6	16,75	2,74	—	—	—	2,74
128	10,0	23,7	2,49	0,445	53,3	6,40	2,57	—	—	—	2,49
129	11,0	24,7	6,11	0,697	35,4	16,50	2,70	—	—	—	2,70
130	12,5	26,2	4,08	0,570	45,9	11,70	2,87	—	—	—	2,58
131	13,9	27,6	6,11	0,697	39,6	16,50	2,70	—	—	—	2,65
132	20,0	33,7	2,49	0,445	75,7	5,80	2,33	—	—	—	2,24
133*	20,0	—	8,45	(d=3,28)	—	23,10	2,73	—	—	—	—
134	25,0	38,7	4,08	0,570	68,0	10,90	2,67	—	—	—	2,32
135	30,0	43,7	2,49	0,445	98,2	4,93	1,98	—	—	—	1,98
136	37,5	51,2	4,08	0,570	90,0	9,75	2,39	—	—	—	2,07
137	40,0	53,7	2,49	0,445	120,7	3,90	1,57	—	—	1,52	—
138	50,0	63,7	4,08	0,570	111,7	7,65	1,88	—	—	1,78	—
139	100,0	113,7	18,02	1,200	94,7	35,75	1,98	—	—	—	2,02
140	110,0	123,7	14,39	1,070	115,0	20,20	1,41	—	—	1,68	—
141	120,0	133,7	11,16	0,942	141,9	11,50	1,03	—	—	1,10	—
142	120,0	133,7	8,45	0,820	163,0	6,75	0,80	—	—	0,84	—
143	120,0	133,7	6,11	0,697	191,8	3,35	0,55	—	—	0,60	—
6. Serie: Formeisen von de Wendel & Co., Hayange. Sämtliche Zahlen sind im Mittelwerte aus 2 Versuchen. *L-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 10.*											
144*	100	50	15,3	1,78	28,1	46,00	3,00	←	←	—	—
145*	100	50	14,9	1,72	29,1	43,00	2,85	→	→	—	—
146	100	123	19,2	1,98	62,1	50,63	2,64	→	→	—	2,39
147	150	173	19,2	1,98	87,0	43,13	2,15	→	→	—	2,11

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Ursprl. Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N t$	Beobachtete Knickkraft t/cm^2 β_k	Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
148	200	219	19,2	1,98	111	33,00	1,72	→	←	1,80	—
149	300	319	19,2	1,98	161	15,85	0,83	←	←	0,86	—
150	400	419	19,2	1,98	212	10,25	0,53	←	→	0,49	—
151	500	519	19,2	1,98	262	6,38	0,33	←	←	0,32	—
						⊥-*Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 12 : 6.*					
152*	100	50*	20,90	3,06	16,3	61,50	2,94	⊢→	⊢←	—	2,91
153	100	123	17,30	1,46	84,2	37,88	2,19	→	←	—	2,14
154	150	173	17,30	1,46	118,0	25,64	1,48	→	→	1,58	—
155	200	223	17,30	1,46	153,0	18,88	1,09	←	←	0,95	—
156	300	319	17,30	1,46	218,0	7,44	0,43	→	→	0,47	—
157	400	419	17,30	1,46	288,0	4,82	0,29	←	←	0,27	—
158	500	519	17,30	1,46	355,0	3,75	0,22	←	←	0,18	—
						⊏-*Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 14.*					
159	80	103	20,91	1,70	60,6	51,75	2,48	⊏←	⊏→	—	2,41
160	120	143	20,91	1,70	84,1	47,95	2,29	→	→	—	2,14
161	160	183	20,91	1,70	108,0	37,80	1,81	←	→	1,90	—
162	240	259	20,91	1,70	152,0	20,25	0,97	→	→	0,96	—
163	320	339	20,91	1,70	199,0	11,60	0,56	←	←	0,56	—
164	400	419	20,91	1,70	246,0	7,75	0,38	←	←	0,37	—
						I-*Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 18.*					
165*	50	25	29,46	1,71	14,6	80,00	2,72	I→	I→	—	2,93
166*	75	37,5	29,46	1,71	21,9	80,00	2,72	→	←	—	2,85
167	100	123,0	29,46	1,71	71,9	65,00	2,21	→	←	—	2,28
168	150	173,0	29,46	1,71	101,0	52,25	1,77	←	←	—	1,95
169	200	223,0	29,46	1,71	130,0	37,50	1,27	←	→	1,31	—
170	250	269,0	29,46	1,71	157,0	27,25	0,92	←	←	0,90	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickkraft t/cm^2 β_k	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Beobachtete Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
⌙-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: $d = 1{,}8$ cm; Nietteilung: $t = 31$ $s = 25{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 11{,}9$ %.											
171	100	123	24,2	2,47	50	58,50	2,42	⌙←	⌙←	—	2,53
172	150	173	24,2	2,47	70	49,75	2,06	←	←	—	2,30
173	200	223	24,2	2,47	90	46,00	1,90	←	←	—	2,07
174	300	319	24,2	2,47	129	29,55	1,22	←	→	1,33	—
175	400	419	24,2	2,47	170	16,57	0,68	←	←	0,77	—
176	500	519	24,2	2,47	210	11,56	0,48	→	←	0,50	—
⌶-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 6. Nietdurchmesser: $d = 1{,}5$ cm; Nietteilung; $t = 33$ $s = 20{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 13{,}1$ %.											
177	100	123	27,58	2,40	51,2	62,12	2,25	⌶↗	⌶→	—	2,52
178	150	173	27,58	2,40	72,1	56,00	2,03	←	→	—	2,28
179	200	219	27,58	2,40	92,2	43,50	1,58	→	→	—	2,07
180	300	319	27,58	2,40	132,0	27,88	1,01	→	↓	1,27	—
181	400	419	27,58	2,40	175,0	16,50	0,60	↘	→	0,73	—
182	500	519	27,58	2,40	216,0	10,60	0,38	→	→	0,48	—
⌶-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 9 : 4½. Nietdurchmesser: $d = 1{,}5$ cm; Nietteilung: $t = 20$ $s = 16{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 11{,}8$ %.											
183*	60	30	20,28	1,51	19,9	61,25	3,02	⌶→	⌶→	—	2,87
184	90	113	20,28	1,51	74,8	39,75	1,96	→	→	—	2,25
185	120	143	20,28	1,51	94,7	37,36	1,84	→	→	—	2,02
186	180	199	20,28	1,51	132,0	25,88	1,28	→	→	1,27	—
187	240	259	20,28	1,51	172,0	15,25	0,75	→	→	0,76	—
188	300	319	20,28	1,51	211,0	11,27	0,56	←	→	0,50	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Lauf. No.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	Mittlere Querschnittsfläche F cm²	Trägheitshalbmesser i cm	$\frac{l}{i}$	Beobachtete Knickkraft absolut $N\,t$	Beobachtete Knickkraft t/cm^2 β_k	Richtung der Durchbiegung 1. Versuch	Richtung der Durchbiegung 2. Versuch	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Euler β_k	Berechnete Knickspannung t/cm^2 nach Tetmajer β_k
⊐⊏-Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 8. Nietdurchmesser: $d = 1{,}5$ cm; Nietteilung: $t = 30$ $s = 16{,}0$ cm; Verschwächung des Profils: $n = 8{,}2$ %.											
189*	80	40	21,86	1,94	20,6	62,00	2,84	⊐⊏→	⊐⊏→	—	2,86
190	120	143	21,86	1,94	73,7	50,88	2,33	→	→	—	2,26
191	160	183	21,86	1,94	94,3	47,05	2,15	←	→	—	2,02
192	240	259	21,86	1,94	134,0	26,75	1,22	→	→	1,24	—
193	320	339	21,86	1,94	175,0	16,70	0,76	→	→	0,73	—
194	400	419	21,86	1,94	216,0	10,19	0,47	←	←	0,48	—

*) Einspannung zwischen festen Druckplatten.

Die Ergebnisse der in Abteilung III und IV zusammengestellten Resultate der Knickungsversuche, ausgeführt an Stäben in *Schweiss-* und weichem *Flusseisen,* führen zu folgenden Schlussfolgerungen:

a. Ungeachtet aller Vorsicht und Sorgfalt in der Appretur und Einspannung der Probestäbe war nicht zu vermeiden, dass einzelne derselben zu Folge ungenügender Geradheit, Querschnittsänderungen, Materialfehler u. d. m. ihre Tragkraft vorzeitig verloren haben.

b. Umgekehrt trugen einzelne Stäbe mehr als nach den festgestellten Gesetzen durchschnittlich zu erwarten war. Der Grund dieser Erscheinung ist bedingt durch das zufällige Zusammenwirken günstiger Nebenumstände, zufälliger Härte- und Dichteverhältnisse, Lage der Kraftrichtung gegen die Stabaxe u. d. m.

c. Einflüsse der Form der Versuchstäbe auf die Knickungsfestigkeit des schmiedbaren Konstruktionseisens werden wahrscheinlich bestehen. Vorliegende Versuchsreihen geben indessen zur Beurteilung derselben keine Anhaltspunkte.

d. Die durch Nietung zusammengesetzten Stäbe verhalten sich wie einfache Walzprofile, soferne:

α. die Nietabstände (Teilung) die 70-fache Dicke der gefassten Flanschen nicht überschreiten. Die Grenze der noch zulässigen Nietabstände lässt sich aus unsern Versuchen nicht ableiten;

β. die Schwächung der Stabquerschnitte durch Nietlöcher durchschnittlich ca. 12 % nicht überschreitet.

e. Hinsichtlich der Einflüsse der Nietung, insbesondere der Verschwächung des Stabquerschnitts durch Nietlöcher, sowie der Lage der Nietlöcher im Querschnitt ist das Flusseisen im allgemeinen empfindlicher als das Schweisseisen.

f. Die Richtung der Durchbiegung korrespondiert in der Regel mit der Richtung des kleinsten Trägheitshalbmessers des Stabquerschnitts.

g. Die Durchbiegung der Druckstäbe mit Längenverhältnissen $l : i >$ ca. 112 beim Schweisseisen, und 105 beim Flusseisen erfolgt in der Regel allmälig und sind die Formänderungen vorwiegend elastischer Art. Stäbe mit kleinern Längenverhältnissen verbiegen sich meist plötzlich, oft erst an der Grenze des Tragvermögens; die Formänderungen tragen sodann der Hauptsache nach den Charakter unelastischer Körper.

h. Das Tragvermögen prismatischer Druckstäbe an der Grenze hängt von deren Längenverhältnisse ab. Bei einem Längenverhältnisse $\frac{l}{i}$ von ca. 112 beim Schweisseisen und ca. 105 beim Flusseisen erreicht die Schwerpunkts-Spannung ($\sigma_s = \beta_k = N : F$) *die Elasticitätsgrenze. An dieser Grenze hört das Proportionalitäts-Gesetz auf und naturgemäss tritt hier eine Aenderung im gesetzmässigen Verlaufe der Schwerpunkts-Spannungen (Knickspannungen) auf, die die Möglichkeit einer, das gesamte Intervall der Längenverhältnisse umfassenden Knickformel ausschliesst.*

Stäbe mit Längenverhältnissen von

$\frac{l}{i} <$ ca. 112 beim Schweisseisen und

$\frac{l}{i} <$ ca. 105 beim Flusseisen (mit einer Zugfestigkeit von $\leqq$ 4,5 t/cm^2).

folgen dem Euler'schen Gesetze nicht (vergl. Taf. IV und V) und bestätigen unsere Versuche, dass in diesem für das Konstruktionsfach besonders wichtigen Intervalle das Tragvermögen der Stäbe in Schweiss- und Flusseisen mit abnehmenden Längenverhältnissen angenähert proportional wächst und die Knickspannungen und Knickungskräfte durch folgende Formeln ausgedrückt werden können durch

beim *Schweisseisen:*	beim *Flusseisen:* (mit einer Zugfestigkeit $\leqq 4{,}5\ t/cm^2$)
für $\frac{l}{i}$ = ca. 10 bis ca. 112	$\frac{l}{i}$ = ca. 10 bis ca. 105
$\beta_k = 3{,}03 - 0{,}0129\ \frac{l}{i}\ t/cm^2$;	$\beta_k = 3{,}10 - 0{,}0114\ \frac{l}{i}\ t/cm^2$;
$N = \left[3{,}03 - 0{,}0129\ \frac{l}{i}\right] F$;	$N = \left[3{,}10 - 0{,}0114\ \frac{l}{i}\right] F$ in t.

Stäbe mit Längenverhältnissen $\frac{l}{i} > 112$ *bezw. 105*

folgen dem Euler'schen Gesetze und sind die Knickspannungen und Knickungskräfte ausgedrückt durch

beim *Schweisseisen:*	beim *Flusseisen:*
$\beta_k = 19740 \left(\frac{i}{l}\right)^2 t/cm^2$;	$\beta_k = 21220 \left(\frac{i}{l}\right)^2 t/cm^2$;
$N = F\,\beta_k = 19740\ F \left(\frac{i}{l}\right)^2 t$;	$N = F\,\beta_k = 21220\ F \left(\frac{i}{l}\right)^2 t$.

Den Constanten vorstehender Formeln entspricht ein *Elasticitätsmodul* von:

$\varepsilon = 2000\ t/cm^2$; $\varepsilon = 2150\ t/cm^2$;

i. Für stahlartige Flusseisensorten darf der Elasticitätsmodul zu:

$$\varepsilon = \text{ca. } 2240\ t/cm^2$$

angenommen werden. Für solches Eisen sind Knickspannungen und Knickungskräfte nach folgenden Formelgruppen zu berechnen:

bei Stäben mit Längenverhältnissen

$\frac{l}{i}$ = ca. 10 bis 105	$\frac{l}{i} \geqq$ ca. 105
$\beta_k = 3{,}21 - 0{,}0116\ \frac{l}{i}\ t/cm^2$;	$\beta_k = 22200 \left(\frac{i}{l}\right)^2 t/cm^2$;
$N = \left[3{,}21 - 0{,}0116\ \frac{l}{i}\right] F$ in t.	$N = 22200\ F \left(\frac{l}{i}\right)^2$ in t;

k. Unter zu Grundelegung einer mittleren Druckfestigkeit des Schweiss- und Flusseisens von beziehungsweise 3,03 und 3,10 t/cm²) und unter Benützung der unter lit. h angeführten Formeln für die Knickspannung β_k, liefert die Schwarz-Rankine'sche Knickungsformel:*

$$\beta_k = \frac{\beta_d}{1 + \eta \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

folgende Werte des Knickungskoeffizienten:

	Schweisseisen;		*Flusseisen.*	
für $\frac{l}{i}$ =	10 wird: η =	0,000448;	10 wird: η =	0,000370;
=	20 » = »	235;	20 » = »	200;
=	30 » = »	164;	30 » = »	133;
=	40 » = »	129;	40 » = »	109;
=	50 » = »	109;	50 » = »	088;
=	60 » = »	096;	60 » = »	078;
=	70 » = »	088;	70 » = »	071;
=	80 » = »	082;	80 » = »	065;
=	90 » = »	078;	90 » = »	061;
=	100 » = »	075;	100 » = »	058;
=	110 » = »	074;	110 » = »	064;
=	120 » = »	084;	120 » = »	077;
=	130 » = »	094;	130 » = »	086;
=	140 » = »	102;	140 » = »	095;
=	160 » = »	115;	160 » = »	107;
=	180 » = »	122;	180 » = »	116;
=	200 » = »	130;	200 » = »	122;
=	220 » = »	132;	220 » = »	125;
=	240 » = »	134;	240 » = »	128;
=	250 » = »	136;	250 » = »	130.

Vorstehende Zahlenreihen bestätigen die einleitenden Bemerkungen in *lit. h* und weisen darauf, dass der Knickungskoeffizient η der *Schwarz-Rankine'schen Formel* weder konstant ist, noch durch *eine* Funktion von $\frac{l}{i}$ dargestellt werden kann.

---

*) Bezüglich der Zahlenwerte 3,03 u. 3,10 vrgl. die Fussbemerkung auf Seite 112. Es sind keine s. g. Würfelfestigkeiten. Für den Grenzwert $\frac{l}{i} = 0$ hervorgegangen aus den Gleichungen:

$$\beta_k = 3{,}03 - 0{,}0129 \left(\frac{l}{i}\right)$$

$$= 3{,}10 - 0{,}0114 \left(\frac{l}{i}\right)$$

sind sie den Würfelfestigkeiten nahe verwandt und dürfen bei Vergleichungen als *eine Art von Druckfestigkeit* behandelt werden.

4. Resultate der Untersuchung des Einflusses der Verbindungsart von Formeisen auf die Knickfestigkeit zusammengesetzter, schmiedeiserner Druckstäbe.

a. Schweisseisen-Stäbe (aus dem Jahre 1892).

α. Allgemeines.

Zur Gewinnung eines Urteils bezüglich des Einflusses der Verbindungsart einzelner Profile auf die Knickfestigkeit zusammengesetzter Druckstäbe wurden in der schweizerischen Materialprüfungs-Anstalt zu verschiedenen Zeiten Versuche ausgeführt, welche ungeachtet ihres Umfangs zu keinem endgültigen Abschlusse führten, weil man in Ermanglung der erforderlichen Kraft der Maschinen diese Versuche auf Stäbe mit relativ grossen Längenverhältnissen ($l : i$) beschränken musste.

Den ersten Anlass zur Ausführung dieser Druckversuche gab die *Mönchensteiner*-Brückenkatastrophe (14. Juni 1891) und beziehen sich die Versuche der I. Serie auf Stäbe, welche den mittleren Streben der eingestürzten Mönchensteiner Brücke nachgebildet waren. Zu diesem Ende wurden aus der *Burbacher-Hütte* 24 Stück 750 *cm* lange Winkeleisen, in Schweisseisen, Konstruktionsqualität, bezogen und in der Brückenbau-Anstalt von *Th. Bell & Co.* in Kriens zu

6 Stück Streben mit Kreuzprofil aus 2 Winkeln 8×8×1,1 *cm* und
6 » » » » » 2 » 10×10×1,4 *cm*

vergl. Abb. 17, unter Einhaltung der konstruktiven Anordnungen, wie sie die Strebe der Birsbrücke besassen, verarbeitet. Zunächst wurden 24 Stück 40,0 *cm* lange Gurtstücke, bestehend aus Steg ($40 \times 1{,}0$), zwei Winkeleisen ($9 \times 9 \times 1{,}0$) und zwei Gurtlamellen (zu etwa $40 \times 1{,}0$), erzeugt und auf diese sechs nach Anleitung der Abb. 17 abgebundene Winkelstreben derart aufgenietet,

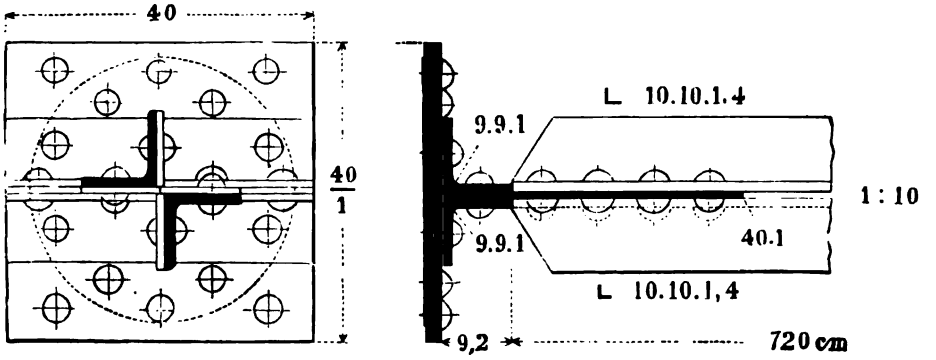


Abb. 17.

dass die Winkel mit etwa 2 *mm* Spielraum an die Gurtwinkel stiessen (vergl. Abb. 17). Die Länge der Winkel dieser Streben betrug rund 720 *cm*; der lichte Abstand der Anschlussbleche 659 *cm*; die Stablänge zwischen den äussersten Befestigungsnieten 667 *cm*. Jede Strebe besass fünf im rechten Winkel versetzte viernietige Verbindungsplatten (vergl. Abb. 19), von welchen eine in die Stabmitte fiel und ⊥ zur Ebene des Anschlussbleches angeordnet war.

Auf diese Weise wurden drei Streben mit $8\times8\times1{,}1$, drei weitere mit $10\times10\times1{,}4$ starken Winkeln angefertigt. Wir wollen diese Streben, zum Unterschiede von den übrigen, in der Folge als «*Streben mit einfachen Anschlussblechen*» bezeichnen.

Bei den übrigen sechs Streben wurden die Winkel (vergl. Abb. 18) über die Gurtwinkel gekröpft und mittelst Winkel und

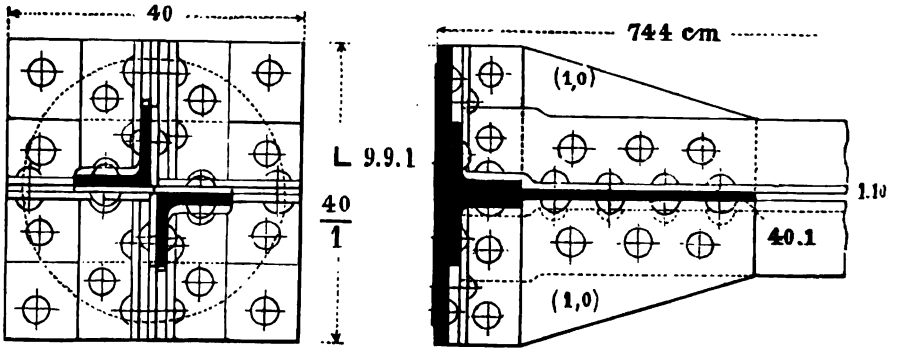


Abb. 18.

Kreuzplatten derart abgesteift, dass eine Tangentenänderung der Stabende von vornherein nahezu vollkommen ausgeschlossen war. Diese Probekörper sollen in der Folge als »*Streben mit Kreuzplatten*« angeführt werden. Ihre totale Länge betrug rund: 744 *cm*; der lichte Abstand der Gurtstege, sowie die Strebenlänge zwischen den äussersten Befestigungsnieten, entsprach den Streben mit einfachen Anschlussblechen.

Sämtliche Streben wurden exakt gerade gerichtet, hierauf in geeignete Drehbänke gespannt und die äussersten Gurtlamellen ⊥ zur Stabaxe abgedreht, so dass die Stäbe mit thunlichster Genauigkeit centrisch und an die ebenfalls ebenen Druckplatten der Werder-Maschine satt angelagert werden konnten. Beim Einlegen der Stäbe in die Maschine war das Gurtstehblech stets in horizontaler Lage.

Verbiegungen der Stäbe beim Transport, sowie beim Auf- und Abladen zu verhindern, wurden dieselben in der Werkstätte der Herren Th. Bell & Co. in Kriens an angemessen starke Holzbalken gebunden und in diesem Zustande in die eidgen. Materialprüfungs-Anstalt eingeliefert.

Die Einspannung dieser Streben in die Werder'sche Festigkeitsmaschine erfolgte unter Berücksichtigung der gebotenen Vorsichtsmassregeln. Um das Moment des Eigengewichts der Stäbe zu parallisieren, wurden dieselben bei den ersten vier Versuchen in den Dritteln, bei den übrigen symetrisch zur Mitte in Abständen von etwa 1,45 *cm* von dieser, mittelst Seilchen gefasst, die über Rollen liefen und an deren Ende Gegengewichte von zusammen 0,8 bezw. 0,7 der Stabgewichte angebracht wurden.

Nachdem die Stäbe wie beschrieben ausgerüstet, centrisch in der Maschine lagen, wurde die Geradheit derselben mittelst Libellen geprüft. Sämtliche Stäbe erwiesen sich hierbei als nahezu vollkommen gerade. Nun wurde ein Druck von 5,0 *t* ausgeübt und hierauf die Arretierschrauben der Druckplatten allmählich gleichmässig fest angezogen, so dass diese und somit auch die dagegen befindlichen Gurtlamellen der Probestäbe keinerlei Bewegung zu vollführen im stande waren.

Aus der Art der Einspannung der Stäbe geht hervor, dass

1. die Stäbe mit Kreuzplatten als starr, unbeweglich eingespannt,
2. die Stäbe mit einfachen Anschlussblechen als nicht völlig beweglich, jedoch um die Kanten der Gurtwinkel mehr oder weniger drehbar gelagert,
3. sämtliche Stäbe als centrisch eingespannt angesehen werden dürften.

Dass die unter 1. angeführte Bedingung thatsächlich erfüllt war, konnte durch Auflegen von Libellen an die Anschlussbleche kontrolliert werden. Eine geringfügige Spur von Lagenänderung der Luftblase war bloss *nach Eintritt der Knickung* der Stäbe zu beobachten.

Die folgenden Zusammenstellungen enthalten die Resultate mit dem beschriebenen Strebenmaterial.

Zu diesen Versuchen ist erläuternd beizufügen, dass im

Gegensatz zu den übrigen Versuchsstäben, die Streben No. 4* und 10*, vergl. die Zusammenstellungen, die Versuchsresultate, mit fünf-, jedoch zweinietigen Verbindungsplatten versehen waren und zwar dies aus dem Grunde, um die Wirkung dieser Verbindungsbänder gegenüber den in Abb. 19 dargestellten, viernietigen kennen zu lernen.

β. Resultate der Untersuchung der Festigkeits-Verhältnisse des Versuchsmaterials.

Das von der *Burbacher-Hütte* gelieferte Versuchsmaterial hatte folgende Beschaffenheit:

Resultate der Zerreissprobe.

	Im Mittel aus 4 Versuchen. Winkel 8/8/1,1 *cm.*		Winkel 10/10/1,4 *cm.*	
Elasticitätsmodul . . .	2080	*t/cm²*;	2091	*t/cm²*
Grenzmodul	1,50	»	1,48	»
Streckgrenze	2,22	»	2,11	»
Zugfestigkeit	3,49	»	3,45	»
Kontraktion	26,8	%	25,9	%
Bruchdehnung	21,3	»	20,3	»
Dehnung nach Bruch auf 10 *cm* Messlänge .	26,1	»	23,5	»
» 20 » » .	23,7	»	21,9	»
Qualitätskoefficient . .	0,87		0,76	

Gefüge der Bruchfläche: sehnig geschichtet, mit Spuren von Schweissnähten.

Resultate der Kaltbruchprobe.

	Im Mittel aus 2 Versuchen.	
Stabdimensionen	5,10×1,11 *cm*;	4,88×1,40 *cm.*
Biegungswinkel	$\alpha = 167^0$;	$= 112^0$.
Mittlerer Krümmungsradius .	$\varrho = 1{,}74$ *cm*;	$= 2{,}38$ *cm.*
Krümmungskoefficient . . .	$\varkappa = 31{,}9$	$= 29{,}4$.

Resultate der Rotbruchprobe.

	Im Mittel aus 2 Versuchen.	
Stabdimensionen	5,10×1,11 *cm*;	4,88×1,40 *cm.*
Biegungswinkel	$\alpha = 180^0$;	$= 180^0$.
Mittlerer Krümmungsradius .	$\varrho = 0{,}99$ *cm*;	$= 0{,}75$ *cm.*
Krümmungskoefficient . . .	$\varkappa = 56{,}1$;	$= 93{,}3$.

γ. Resultate der Knickungsproben mit Streben auf einfachen Anschlussplatten (Abb. 17).

Lauf. No.	Querschnittsfläche ohne Nietabzug cm^2	Trägheitshalbmesser in cm: Kleinstwert i min.	Trägheitshalbmesser in cm: ⊥ u. ∥ zur Ebene des Anschlussbleches	Stablängen in cm: total l_0	Stablängen in cm: zwischen den äussersten Nieten l	Knick-Kräfte: beobachtet absolut t	beobachtet t/cm^2	berechnet nach Tetmajer mit $0{,}5\,l_1$ absolut t	berechnet nach Tetmajer mit $0{,}5\,l_1$ t/cm^2	Bemerkungen
1. Kreuzstreben aus Winkeleisen 8/8/1,1 *cm*.										
1	33,0	3,08	3,76	743	667	17,30	0,52	13,9	0,42	Bei etwa 11 *t* Beginn d. Steigens, Bewegungsrichtung vorwiegend aufwärts; schliessl. Knickrichtung angenähert in der Richtung d. grössten Trägheitshalbmessers, vertikal: —5,0 *cm*, horizontal: etwa 2,0 *cm*.
2	33,0	3,08	3,76	743	667	17,50	0,53	13,9	0,42	Beginn des Steigens bei etwa 10 *t*; Bewegungs- und Knickrichtung fast vertikal; vertikal: —7,4 *cm*, horizontal: etwa 0,6 *cm*.
3	33,0	3,08	3,76	743	667	18,88	0,57	13,9	0,42	Aehnlich wie vorher, schliessliche Verbiegung vertikal: —7,2 *cm*, horizontal: Spur.
				Im Mittel:		17,89	0,54	13,9	0,42	
2. Kreuzstreben aus 2 Winkeleisen 10/10/1,4 *cm*.										
4*	52,3	3,82	4,69	743	667	37,20*	0,71	34,0	0,65	Bei etwa 20 *t* Spur von Sinken; ziemlich plötzliche Knickung angenähert in der Richtung des grössten Trägheitshalbmessers; ziemlich deutl. ausgeprägte Sinusoïde. Schliessliche Verbieg., vertik.: 5,8 *cm*, horiz.: 2,0 *cm*.
5	52,3	3,82	4,69	743	667	34,25	0,66	34,0	0,65	Bei etwa 18 *t* Beginn des Steigens; Stab verliert ziemlich allmählich sein Tragvermögen. Schliessliche Knickrichtung vorwiegend aufwärts. Verbiegung beträgt vertikal: —6,6 *cm*, horizontal: 1,0 *cm*.
6	52,3	3,82	4,69	743	667	38,50	0,74	34,0	0,65	Bei etwa 20 *t* Beginn. d. Bewegung. Schliessl. Verbiegung vertik.: 5,4 *cm*, horiz.: 0,8 *cm*.
				Im Mittel aus 11 und 12:		36,38	0,70	34,0	0,65	

γ. Resultate der Knickungsproben mit Streben auf Kreuzplatten (Abb. 18).

Lauf. No.	Querschnittsfläche ohne Nietabzug cm^2	Trägheitshalbmesser in *cm*: Kleinstwert i min.	Trägheitshalbmesser in *cm*: ⊥ u. ∥ zur Ebene des Anschlussbleches	Stablängen in *cm*: total l_0	Stablängen in *cm*: zwischen den äussersten Nieten l	Knick-Kräfte: beobachtet absolut t	Knick-Kräfte: beobachtet t/cm^2	Knick-Kräfte: berechnet nach Tetmajer mit 0,5 l_1 absolut t	Knick-Kräfte: berechnet nach Tetmajer mit 0,5 l_1 t/cm^2	Bemerkungen
1. Kreuzstreben aus Winkeleisen 8/8/1,1 *cm*.										
7	33,1	3,08	3,74	744	667	37,75	1,14	53,6	1,62	Ausgeprägte Sinusoïde; Biegungsrichtung vorerst vorwiegend vertikal, dann angenähert in der Richtung des grössten Trägheitshalbmessers; Verbiegung schliesslich: vertikal: — 4,7 *cm*, horizontal: 7,7 *cm*.
8	33,5	3,08	3,74	745	667	38,75	1,16	53,6	1,62	Wie vorher; schliessliche Verbiegung vertikal: 7,0 *cm*, horizontal: 4,9 *cm*.
9	33,1	3,08	3,74	745	667	32,50	0,98	53,6	1,62	Wie oben; schliessliche Verbiegung vertikal: 3,3 *cm*, horizontal: 3,2 *cm*.
				Im Mittel:		36,33	1,09	53,6	1,62	
2. Kreuzstreben aus 2 Winkeleisen 10/10/1,4 *cm*.										
10*	52,4	3,82	4,69	744	667	46,30*	0,88*	99,6	1,90	Ziemlich plötzliche Knickung. Ausgeprägte Sinusoïde, Biegungsrichtung angenähert in der Richtung des grössten Trägheitshalbmessers. Schliessliche Verbiegung vertikal: 6,5 *cm*, horizontal: 4,0 *cm*.
11	52,3	3,82	4,69	745	667	56,00	1,07	99,6	1,90	Bei 20 *t* Spur von Bewegung. Stab bleibt sodann fast unverändert. Alles andere wie vorher. Schliessliche Verbiegung vertikal: — 4,5 *cm*, horizontal: 4,2 *cm*.
12	52,3	3,82	4,69	745	667	72,50	1,39	99,6	1,90	Wie bei No. 4*, Stab bis nahe an der Knickgrenze, fast unbeweglich, schliessliche Verbiegung vertikal: 10,9 *cm*, horizontal: 8,8 *cm*.
				Im Mittel aus 5 und 6:		64,25	1,23	99,6	1,90	

Güte der Schweissung.

Die Güte der Schweissung war bei dem gesamten Versuchsmaterial normal.

Fassen wir die gewonnenen Resultate zusammen, so ergiebt sich:

1. *Die anfängliche Richtung der Verbiegungen sämtlicher Stäbe war vorwiegend vertikal, d. h. senkrecht zur Ebene der Anschlussbleche.*

2. *Die schliessliche Ausknickung erfolgt selbst bei den Streben mit Kreuzplatten, entgegen der Theorie und den bisherigen Erfahrungen in einzelnen Fällen senkrecht zur Ebene der Anschlussbleche, der Mehrzahl nach angenähert in der Richtung des grössten Trägheitshalbmessers des Kreuzprofils, also in der Richtung des kleinsten Trägheitshalbmessers der Einzelwinkel.*

3. *Die Knickkräfte der Streben mit Kreuzplatten* (feste Einspannung) *liegen im Mittel um 47,5 bezw. um 55,0 % unter denjenigen Werten, welche für die Richtung des kleinsten Knickungswiderstandes unter zu Grundelegung der für Schweisseisen und Längenverhältnisse der Stäbe $l : i < 110$ gewonnenen Knickformeln,* vrgl. Seite 147, *berechnet wurden.*

4. *Die Biegungsrichtung der Probestreben mit einfachen Anschlussblechen war der Hauptsache nach durch ihre Biegungsfähigkeit längs der Gurtwinkelkanten bestimmt.* Es mussten daher die beobachteten Knickkräfte etwas grösser als diejenigen ausfallen, welche für die Richtung des kleinsten Widerstands unter Annahme von Spitzenlagerung und einer Stablänge von 667 *cm* vorausberechnet wurden.

Auf Grund der unter 1, 2, 3 und 4 angeführten Versuchsresultate darf geschlossen werden, dass die viernietigen Verbindungsplatten bei der Anordnung, wie sie die Mönchensteiner Birsbrücke besass, bei welcher das Verhältnis von Abstand der Verbindungsstellen zum kleinsten Trägheitshalbmesser der Einzelwinkel

$$\frac{l}{i} = \frac{110}{1{,}545} = 71; \text{ bezw.} = \frac{110}{1{,}940} = 57$$

betrug, beim Schweisseisen zur Vereinigung der Winkel zu einem, mit dem vollen Trägheitsmomente des Kreuzquerschnitts arbeitenden Stabes nicht ausreichten.

b. Flusseisen (aus den Jahren 1899—1900).

a. Allgemeines.

In vorliegenden Versuchsreihen gelangen Stäbe serienweise mit constantem Längenverhältnisse ($l : i$) und kreuzförmigem Querschnitt bestehend aus 2 bezw. 4 Winkeleisen zur Anwendung. Sämtliche Versuchs-Serien sollten zwischen Spitzenkörner, also möglichst vollkommen beweglich gelagert, den Knickversuchen unterworfen werden. Für die 4 winkligen Stäbe mit Zehner- und Zwölfer-Winkeln, reichte die verfügbare Kraft der Maschinen der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt nicht mehr aus und wir sahen uns genötigt, die Druckversuche mit diesen Stäben in den

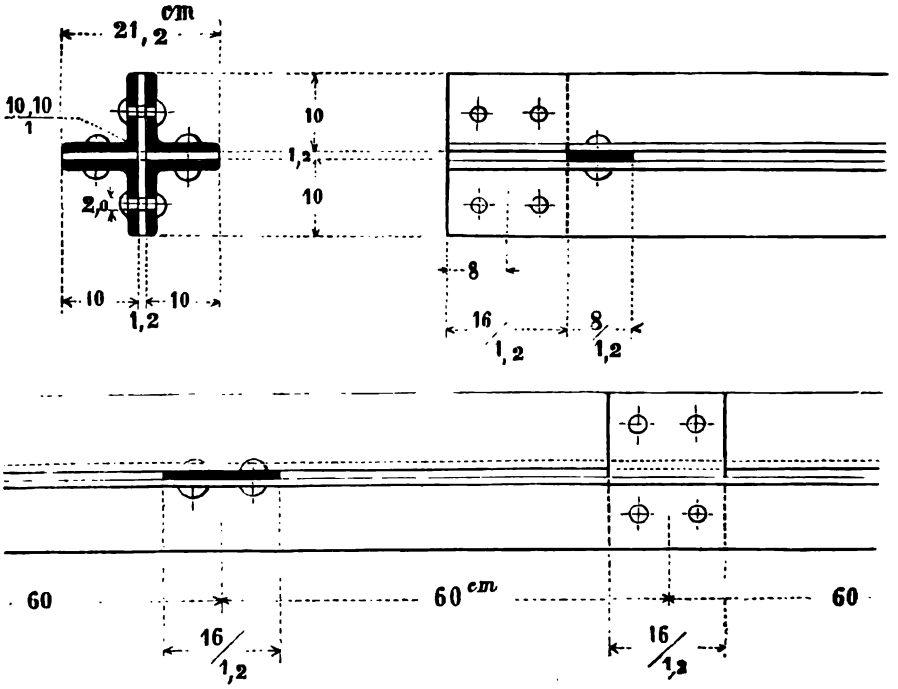


Abb. 19.

kgl. preuss. mechanisch-technischen Versuchsanstalten in Charlottenburg ausführen zu lassen (vrgl. das Vorwort zur 2. Aufl.). Nach vergeblichen Bemühungen, für diese Versuche passende Druckplatten mit Spitzenlagerung zu erstellen, musste der Arbeitsplan für die nach Charlottenburg versandten Druckstäben geändert, die Versuche mit fester Flächenlagerung ausgeführt werden.

Das gesamte Versuchsmaterial bestand somit

für *Spitzenlagerung* aus:

16 Stück Druckstäben, Kreuzprofil aus 2 Achter-Winkeln; Längenverhältnis $\frac{l}{i} = 202$

16 » » » » 2 Zehner- » » » $= 165$

16 » » » » 2 Zwölfer- » » » $= 139$

16 » » » » 4 Achter- » » » $= 172$

für *Flächenlagerung* aus:

16 Stück Druckstäben, Kreuzprofil aus 4 Zehner-Winkeln; Längenverhältnis $\frac{l^*)}{i} = 66{,}8$

16 » » » » 4 Zwölfer- » » » $= 56{,}8$

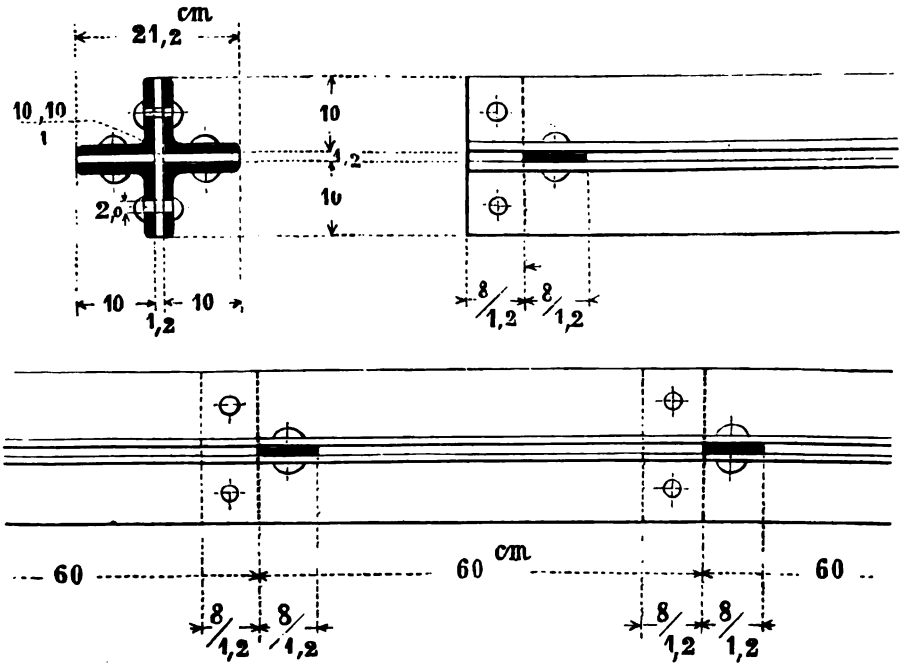


Abb. 20.

In jeder dieser Versuchsreihen lagen 8 Druckstäbe, konstruiert nach Anleitung von Abb. 19 mit alterierend versetzten, *vier-nietigen* Blechstreifen vor; die übrigen 8 Druckstäbe erhielten nach *Gerber*'s Manier zweinietige Kreuzplatten, vrgl. Abb. 20 (vrgl. auch Abb. 9). Bezüglich der Konstruktion der Stabenden

*) Die freie *Knicklänge* l ist hier gleich 0,5 der Stablänge gesetzt; wir kehren auf die Zuverlässigkeit dieser Annahme nochmals zurück.

geben die Abb. 9 und 10, sowie 19 und 20 näheren Aufschluss. Die Länge der Stäbe betrug ca. 616 *cm*; sie waren in Abständen (Knotenentfernung in nachfolgenden tabellarischen Zusammenstellungen) von bezw.

300 200 150 120 100 75 60 und 50 *cm*

durch die vorstehend angeführten und in den Abb. 9, 10 und 19, 20 dargestellten Blechstreifen, bezw. Kreuzplatten abgebunden.

Sämtliche *Druckstäbe* wurden gerade gerichtet, ⊥ zur Stabaxe abgeschnitten, die Endfläche zunächst mittelst *Feile*, sodann mittelst *Schaber* auf die Druckplatten aufgepasst, endlich abgeschliffen, sodass eine möglichst vollkommene Berührung der Stäbe und Druckplatten erreicht war.

Sämtliche Stäbe wurden centrisch in die *Werder*'sche Maschine der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt eingelegt; sie waren in den Dritteln aufgehängt und mit $^3/_4$ ihres Eigengewichts + der Reibung der Rollapparate, über welchen die Seilchen der Wagschalen liefen, ausbalanciert. Eine ähnliche Behandlung hat das Versuchsmaterial auch in den Charlottenburger Versuchen gefunden; die Bauart der dort verwendeten Maschinen ist uns jedoch nicht näher bekannt.

Die Messung der Durchbiegung geschah bei den Züricher Versuchen direkt (vrgl. Seite 38 und 39 dieses Heftes). Bei den Charlottenburger Versuchen kamen Gradbogen-Apparate, ähnlich den auf Taf. I dargestellten zur Anwendung; die Resultate der Ablesungen mussten also korrigiert werden, um schliesslich die Lagenänderung der Stabmitten im wagrechten und lotrechten Sinne zu liefern, wie sie der Ausfertigung der Charlottenburger Anstalten entnommen und auf $^1/_{10}$ *mm* abgerundet in nachstehenden Zusammenstellungen, Serie V und VI, eingetragen wurden.

β. *Resultate der Untersuchung der Festigkeitsverhältnisse des Versuchsmaterials.*

1. Resultate der Zerreissversuche.

Lauf. No.	Elastic.-Modul ε t/cm²	Grenz-Modul γ t/cm²	Streck-Grenze σ t/cm²	Zug-festigkeit β t/cm²	Con-traktion φ %	Bruch-dehnung λ %	Dehnung n. Bruch λ_1 %	Arbeits-Koeff. c t/cm
I. Serie; Lieferant: Schröder & Co., Brückenbauanstalt, Brugg. Herkunft des Materials: *de Wendel & Co.*, Hayange. Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 8a.								
1	2158	2,26	2,98	3,87	68,0	21,2	28,2	1,09
2	2177	2,44	2,97	3,98	67,0	21,4	27,9	1,11
Mittel	2168	2,35	2,98	3,93	67,5	21,3	28,1	1,10
II. Serie; Lieferant: Bell & Co., Brückenbauanstalt, Kriens. Herkunft des Materials: *Burbacher-Hütte* bei Saarbrücken. Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 10a.								
3	2107	2,53	2,79	3,99	65,0	20,6	28,2	1,13
4	2113	2,49	2,84	4,02	64,0	18,7	27,0	1,09
Mittel	2110	2,51	2,82	4,01	64,5	19,7	27,6	1,11
III. Serie; Lieferant: Buss & Co., Brückenbauanstalt, Basel. Herkunft des Materials: *Gebr. Röchling*, Völklingen. Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 12a.								
5	2177	2,54	3,07	4,31	59,0	15,4	24,6	1,06
6	2076	2,16	3,03	4,24	59,0	22,5	28,1	1,19
Mittel	2127	2,30	3,05	4,28	59,0	19,0	26,4	1,13
IV. Serie; Lieferant: Eisenwerk Kaiserslautern, (Abt. Brückenbau). Herkunft des Materials: *Gebr. Stumm*, Neunkirchen. Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 8a.								
7	2109	2,52	3,18	4,27	64,5	21,3	26,4	1,13
8	2150	2,74	2,96	4,03	64,0	24,5	29,2	1,18
Mittel	2130	2,63	3,07	4,15	64,3	22,9	27,8	1,16

Lauf. No.	Elastic.-Modul ε t/cm^2	Grenz-Modul γ t/cm^2	Streck-Grenze σ t/cm^2	Zug-festigkeit β t/cm^2	Con-traktion φ %	Bruch-dehnung λ %	Dehnung n. Bruch λ_2 %	Arbeits-Koeff. c t/cm
V. Serie; Lieferant: **Gutehoffnungshütte,** Brückenbauanstalt, Sterkrade. Herkunft des Materials: *Eigenes Fabrikat.* Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 10a.								
9	2183	2,41	2,73	3,93	64,0	20,3	26,8	1,05
10	2099	2,43	2,91	4,04	65,5	12,8	20,4	0,82
Mittel	2141	2,42	2,82	3,97	64,8	16,6	23,6	0,94
VI. Serie; Lieferant: **Maschinenbaugesellschaft Nürnberg,** Abt. Brückenbau. Herkunft des Materials: *de Wendel & Co.*, Hayange. Flusseisen; Winkeleisen, deutsches Normalprofil Nr. 12a.								
11	2131	2,37	2,82	3,76	71,0	20,0	29,9	1,12
12	2163	2,51	2,77	3,72	69,0	20,6	28,9	1,08
Mittel	2147	2,44	2,80	3,74	70,0	20,3	29,4	1,10

2. Resultate der Kaltbruchproben.

Das *Material sämtlicher Versuchsreihen* hat die üblichen Kaltbruchproben vollkommen bestanden. Es betrug bei sämtlichen Proben:

der *Biegewinkel:* $a = 180^0$

der *Krümmungskoeffizient:* $x = 100$ (das erreichbare Maximum).

3. Resultate der Härtebiegeproben.

Das *Material sämtlicher Versuchsreihen* besass keinen stahlartigen Charakter; es hat die üblichen Härtebiegeproben vollkommen bestanden. Es betrug bei sämtlichen Proben:

der *Biegewinkel:* $a = 180^0$

der *Krümmungskoeffizient:* $x = 100$ (das erreichbare Maximum).

Resultate der Knickungsproben der I. Serie.

Lieferant: **Schröder & Co., Brugg.** Kreuzprofil aus *2 Achter Winkeln* 8/8/0,8.
Art der Einspannung: *Spitzenlagerung.*
$J_{max} = 478{,}4\ cm^4$; $J_{min} = 234{,}0\ cm^4$; $i_{max} = 4{,}41\ cm$; $i_{min} = 3{,}09\ cm$;
Querschnitts-Inhalt im Mittel: $F = 24{,}56\ cm^2$.

Lauf. Nr.	Stablänge Ursp. l_0 cm	Stablänge Wirksame l cm	$\frac{l}{i}$	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l = m$	Knickrichtung (Skizze)	$N : V$ unmittelbar nach Erreichen der Knickkraft	Beobachtete Knickkraft: absolut $N = t$	spezif β_k t/cm^2	Berechnete Knickkraft β_k t/cm^2	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
1	600	625	202	viernietige Blechstreifen	300		— : —	10,75	0,44			
2	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		— : —	9,25	0,38			für ε 2168 wird nach $\beta_k = \varepsilon\pi^2 \frac{1}{\left(\frac{l}{i}\right)^2}$
								Mittel	0,41	0,52	−26,8	$\beta_k = 0{,}524\ t/cm^2$ oder $N = 12{,}87\ t$
3	600	625	202	viernietige Blechstreifen	200		3,67 : 0,07	12,50	0,51			
4	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		0,69 : 6,04	10,30	0,42			
								Mittel	0,47	0,52	−10,6	— —
5	600	625	202	viernietige Blechstreifen	150		4,37 : 1,51	11,90	0,48			
6	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		1,38 : 5,43	10,40	0,42			
								Mittel	0,45	0,52	−15,6	*Viernietige Blechstreifen:* besser in 5 Fällen im Mittel um 12,8 %.
7	600	625	202	viernietige Blechstreifen	120		6,40 : 0,34	11,25	0,46			
8	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		0,23 : 4,95	14,00	0,57			
								Mittel	0,52	0,52	0,0	
9	600	625	202	viernietige Blechstreifen	100		0,72 : 4,13	12,20	0,50			
10	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		0,57 : 4,59	12,05	0,49			*Zweinietige Kreuzplatten:* besser in 2 Fällen im Mittel um 18,0 %.
								Mittel	0,50	0,52	−4,0	
11	600	625	202	viernietige Blechstreifen	75		4,02 : 0,32	12,10	0,49			
12	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		3,54 : 0,84	13,55	0,55			— —
								Mittel	0,52	0,52	0,0	
13	600	625	202	viernietige Blechstreifen	60		3,68 : 0,83	13,15	0,54			
14	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		5,89 : 0,29	12,10	0,49			
								Mittel	0,52	0,52	−0,0	
15	600	625	202	viernietige Blechstreifen	50		6,41 : 0,48	11,60	0,47			
16	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		6,93 : 0,26	11,50	0,47			
								Mittel	0,47	0,52	−10,6	

γ. Resultate der Druckproben.

I. Serie; Lieferant: **Schröder & Co.,** *Brückenbauanstalt, Brugg.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 478{,}4\ cm^4$; $J_{min} = 234{,}0\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 4{,}41\ cm$; $i_{min} = 3{,}09\ cm$.

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung / cm		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: Null-Last	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	
			lotrecht	0,00	0,00	−0,03	−0,05	−0,15	−0,21	−0,30	−0,44	−0,64	
2	zweinietige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,04	0,07	0,12	
			lotrecht	0,00	0,02	0,04	0,08	0,14	0,25	0,40	0,65	1,13	
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,00	0,00	−0,01	−0,03	−0,02	−0,07	−0,09	−0,13	
			lotrecht	0,00	−0,02	−0,03	−0,04	−0,03	−0,04	−0,05	−0,04	−0,06	
4	zweinietige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	0,02	0,03	0,03	0,07	0,10	0,14	0,17	0,22	
			lotrecht	0,00	0,04	0,09	0,13	0,19	0,27	0,38	0,56	0,8	
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,14	0,15	0,19	
			lotrecht	0,00	0,00	−0,05	−0,13	−0,16	−0,22	−0,30	−0,39	0,47	
6	zweinietige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	−0,01	−0,03	−0,06	−0,08	−0,12	−0,18	−0,23	−0,33	
			lotrecht	0,00	−0,02	−0,08	−0,15	−0,23	−0,35	−0,49	−0,65	−0,93	
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	−0,01	−0,08	−0,15	−0,20	−0,26	−0,36	−0,47	−0,64	
			lotrecht	0,00	0,01	0,00	−0,02	−0,03	−0,04	−0,08	−0,08	−0,1	
8	zweinietige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	
			lotrecht	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,08	0,08	0,13	

Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 8a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 600$ *cm*; *Querschnittsfläche:* $F = 24{,}56$ *cm*²;
Wirksame » $l = 625$ » ; *Spitzenlagerung.*

Stabquerschnittes in $\frac{1}{100}$ *cm* bei einer Belastung in *t*.											*Knickkraft Nt*	*Richtung der Knickung*
9,0	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	unmittelbar nach Eintritt der Knickung		
0,04	0,03	0,07	—	—	—	—	—	—	—	—	10,75	↓
−1,50	−2,50	−3,40	—	—	—	—	—	—	—	—		
0,15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9,25	↑
2,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
0,18	−0,26	—	−0,38	—	−0,70	—	—	—	—	−3,67	12,20	←
0,04	−0,03	—	−0,01	—	−0,03	—	—	—	—	−0,07		
0,30	0,47	—	—	—	—	—	—	—	—	0,69	10,30	↑
1,19	2,16	—	—	—	—	—	—	—	—	6,04		
0,26	0,37	—	0,56	0,73	—	—	—	—	—	4,37	11,90	↘
−0,60	−0,74	—	−0,95	−1,09	—	—	—	—	—	−1,51		
−0,50	−0,87	—	—	—	—	—	—	—	—	−1,38	10,40	↓
1,39	−2,32	—	—	—	—	—	—	—	—	−5,43		
−0,97	−1,64	−2,30	−3,71	—	—	—	—	—	—	−6,40	11,25	←
0,12	−0,17	−0,20	−0,25	—	—	—	—	—	—	−0,34		
0,04	0,05	—	0,05	—	0,07	—	0,10	—	—	0,23	14,00	↑
0,15	0,20	—	0,28	—	0,37	—	0,55	—	—	4,95		

I. Serie; Lieferant: **Schröder & Co.**, *Brückenbauanstalt, Brugg.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 478{,}4\ cm^4$; $J_{min} = 234{,}0\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 4{,}41\ cm$; $i_{min} = 3{,}09\ cm$.

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung / cm		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: Null-Last	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
9	viernietige Blechstreifen	100	wagrecht	0,00	0,12	0,10	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,4	
			lotrecht	0,00	0,05	0,02	0,00	−0,03	−0,06	−0,13	−0,14	−0,1	
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wagrecht	0,00	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,02	−0,05	−0,07	−0,2	
			lotrecht	0,00	0,03	−0,05	−0,10	−0,14	−0,21	−0,23	−0,32	−0,3	
11	viernietige Blechstreifen	75	wagrecht	0,00	−0,02	−0,02	−0,04	−0,05	−0,10	−0,12	−0,17	−0,2	
			lotrecht	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,07	0,08	0,09	0,1	
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wagrecht	0,00	+0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	0,02	−0,03	−0,0	
			lotrecht	0,00	0,00	−0,01	−0,05	−0,10	−0,12	−0,15	−0,20	−0,2	
13	viernietige Blechstreifen	60	wagrecht	0,00	−0,02	−0,03	0,04	−0,05	−0,06	−0,07	−0,05	−0,0	
			lotrecht	0,00	0,02	−0,03	−0,06	−0,11	−0,15	−0,19	−0,26	−0,3	
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wagrecht	0,00	0,02	−0,04	−0,06	−0,09	−0,12	−0,16	−0,25	−0,2	
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	
15*	viernietige Blechstreifen	50	wagrecht	0,00	0,04	−0,02	−0,05	−0,08	−0,13	−0,18	−0,27	−,3	
			lotrecht	0,00	−0,01	−0,03	−0,08	0,11	−0,15	−0,17	−0,21	−0,2	
16**	zweinietige Kreuzplatten	50	wagrecht	0,00	0,00	0,03	0,06	0,09	0,15	0,19	0,27	0,3	
			lotrecht	0,00	−0,01	0,00	−0,03	−0,07	−0,06	−0,11	−0,11	−0,1	

*) Anfänglich schwach windschief. **) Anfänglich schon ziemlich stark windschief.

Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 8a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 600$ *cm*; *Querschnittsfläche:* $F = 24{,}56$ *cm*²;

Wirksame » $l = 625$ » ; *Spitzenlagerung.*

Stabquerschnittes in $+_{100}$ *cm* bei einer Belastung in *t*.												
9,0	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	unmittelbar nach Eintritt der Knickung	*Knickkraft Nt*	*Richtung der Knickung*
0,47	0,55	—	0,64	0,69	0,75	—	—	—	—	0,72	12,20	↓
0,27	−0,37	—	−0,55	−0,68	−0,93	—	—	—	—	−4,13		
−0,12	−0,15	—	−0,20	−0,24	−0,43	—	—	—	—	−0,57	12,05	↓
−0,41	−0,66	—	−0,91	−1,19	−3,07	—	—	—	—	−4,59		
0,25	−0,40	—	−0,58	−0,70	−0,99	—	—	—	—	−4,02	12,10	←
0,18	0,22	—	−0,27	0,30	0,33	—	—	—	—	0,32		
−0,05	−0,08	—	−0,12	—	−0,39	−0,27	−0,38	−0,69	—	−3,54	13,55	←
−0,31	−0,37	—	−0,47	—	−0,56	−0,61	−0,70	−0,78	—	−0,84		
−0,13	−0,17	—	−0,23	—	−0,36	−0,45	−0,74	—	—	−3,68	13,15	←
−0,41	−0,48	—	−0,57	—	−0,68	−0,76	−0,82	—	—	−0,83		
−0,38	−0,53	—	−0,76	−1,06	−2,75	—	—	—	—	−5,89	12,10	←
0,00	0,02	—	0,04	0,07	0,14	—	—	—	—	0,29		
−0,52	−0,78	—	−1,63	−3,22	—	—	—	—	—	−6,41	11,60	←
−0,30	−0,38	—	−0,41	−0,45	—	—	—	—	—	−0,48		
0,49	0,70	—	1,39	—	—	—	—	—	—	6,93	11,50	→
−0,14	−0,18	—	−0,22	—	—	—	—	—	—	−0,26		

II. Serie; Lieferant: **Bell & Co.,** *Brückenbauanstalt, Kriens.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $J_{min} = 579{,}18\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $i_{min} = 3{,}88\ cm$;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Konstruktion des Stabes: Knotenentfernung *l cm*		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: *Null-Last*	1,0	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	19,0	20
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	0,00	−0,01	−0,04	−0,04	−0,06	−0,13	−0,13	−0,16	
			lotrecht	0,00	0,00	−0,05	−0,12	−0,22	−0,41	−0,76	−0,94	−1,2[illegible]	
2	zweinietige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,13	0,16	0,1[illegible]	
			lotrecht	0,00	0,00	−0,04	−0,06	−0,10	−0,17	−0,28	−0,34	−0,4[illegible]	
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,01	−0,01	−0,04	−0,07	−0,13	−0,20	—	−0,2[illegible]	
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,09	0,07	—	0,1[illegible]	
4	zweinietige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	−0,01	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	—	0,[illegible]	
			lotrecht	0,00	−0,02	−0,03	−0,03	−0,03	−0,02	0,00	—	0,0[illegible]	
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	−0,03	−0,04	−0,08	−0,13	−0,19	−0,31	—	—	
			lotrecht	0,00	−0,01	−0,02	−0,05	−0,07	−0,09	−0,14	—	—	
6	zweinietige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	0,03	0,04	0,08	0,12	0,17	0,25	—	—	
			lotrecht	0,00	−0,03	−0,04	−0,06	−0,11	−0,14	−0,19	—	—	
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	0,02	0,02	0,01	−0,02	−0,02	−0,05	—	—	
			lotrecht	0,00	0,00	−0,01	−0,04	−0,08	−0,04	−0,06	—	—	
8	zweinietige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	0,02	0,04	0,07	0,13	0,21	0,29	—	—	
			lotrecht	0,00	0,00	−0,04	−0,07	−0,08	−0,13	0,18	—	—	

Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 616$ *cm*; *Querschnittsfläche:* $F = 38{,}54$ *cm²*;

Wirksame » $l = 641$ *cm*; *Spitzenlagerung.*

Stabquerschnittes in $\frac{1}{100}$ *cm* bei einer Belastung in *t*.											*Knickkraft Nt*	*Richtung der Knickung*
21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	27,5	28,0	28,5	unmittelbar nach Eintritt der Knickung		
−0,18	−0,19	—	—	—	—	—	—	—	—	−0,21	22,20	↓
−1,79	−3,22	—	—	—	—	—	—	—	—	−5,77		
0,21	0,25	0,27	—	—	—	—	—	—	—	0,39	23,20	↓
−0,53	−0,79	−1,69	—	—	—	—	—	—	—	−4,84		
—	−0,39	—	−0,55	−0,67	−0,87	−1,16	−1,40	−1,81	—	−4,60	28,50	←
—	0,16	—	0,22	0,26	0,33	0,37	0,45	0,47	—	0,97		
—	0,17	—	0,21	0,30	0,38	0,50	—	0,77	1,00	2,37	29,20	↑
—	0,03	—	0,07	0,09	0,10	0,14	—	0,18	0,20	9,33		
−0,50	—	−0,78	−1,00	−1,40	−2,20	—	—	—	—	−5,72	26,60	←
−0,18	—	−0,22	−0,25	−0,28	−0,30	—	—	—	—	−0,57		
0,40	—	0,61	0,76	1,00	1,43	2,30	—	—	—	5,60	27,60	→
−0,28	—	−0,33	−0,38	−0,43	−0,47	−0,55	—	—	—	−1,33		
−0,06	—	−0,12	−0,18	−0,23	−0,34	−0,61	−0,86	−1,41	—	−4,44	28,35	←
−0,09	—	−0,11	−0,11	−0,12	−0,13	−0,14	−0,14	−0,15	—	−0,18		
0,52	—	0,77	1,06	1,51	2,58	—	—	—	—	5,18	26,50	→
−0,24	—	−0,30	−0,38	−0,47	−0,56	—	—	—	—	−0,83		

II. Serie; Lieferant: **Bell & Co.,** *Brückenbauanstalt, Kriens.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $J_{min} = 579{,}18\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 5{,}21\ cm$; $i_{min} = 3{,}88\ cm$;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung / cm		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: Null-Last	1,0	3,0	6,0	9,0	12,0	15.0	18,0	19,0	30,0
9	viernietige Blechstreifen	100	wagrecht	0,00		0,02	0,03	0,05	0,11	0,09	0,15	--	–
			lotrecht	0,00		0,00	- 0,01	0,03	0,07	0,14	0,21	—	–
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wagrecht	0,00		0,01	0,02	0,04	0,06	0,10	0,14	—	–
			lotrecht	0,00		−0,02	0,06	−0,06	- 0,07	−0,08	- 0,11	—	–
11	viernietige Blechstreifen	75	wagrecht	0,00		0,05	0,07	0,09	0,11	0,17	0,24	—	–
			lotrecht	0,00		0,00	0,01	0,00	−0,01	0,00	−0,03	—	–
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wagrecht	0,00		−0,03	0,05	0,08	0,13	0,20	0,30	—	–
			lotrecht	0,00		0,01	0,00	0,01	−0,02	−0,08	- 0,03	—	–
13	viernietige Blechstreifen	60	wagrecht	0,00		−0,03	−0,04	- 0,08	−0,11	−0,18	- 0,31	—	–
			lotrecht	0,00		−0,04	- 0,09	- 0,08	−0,07	−0,09	- 0,13	—	–
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wagrecht	0,00		0,00	0,02	0,04	0,06	0,07	0,10	—	–
			lotrecht	0,00		−0,01	−0,02	+0,01	+0,01	0,01	0,01	—	–
15	viernietige Blechstreifen	50	wagrecht	0,00		- 0,01	0,00	0,02	- -0,02	-0,06	- 0,11	—	–
			lotrecht	0,00		- -0,01	−0,01	0,01	0,04	0,04	0,05	—	–
16	zweinietige Kreuzplatten	50	wagrecht	0,00		0,00	0,01	0,01	0,00	−0,03	−0,04	—	–
			lotrecht	0,00		0,00	- 0,04	−0,04	−0,05	−0,06	- -0,07	—	–

Kreuzprofil aus 2 *Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 616$ *cm*; *Querschnittsfläche:* $F = 38{,}54$ *cm*²;

Wirksame » $l = 641$ » ; *Spitzenlagerung.*

Stabquerschnittes in $\frac{1}{1000}$ *cm* bei einer Belastung in *t*.											*Knickkraft N t*	*Richtung der Knickung*
21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	27,5	28,0	28,5	unmittelbar nach Eintritt der Knickung		
0,25	—	0,37	0,48	0,65	1,11	2,54	—	—	—	4,93	27,10	→
0,27	—	0,32	0,38	0,45	0,46	0,55	—	—	—	0,69		
0,21	—	0,33	0,42	0,55	0,80	1,29	1,91	3,68	—	5,19	28,05	→
−0,16	—	−0,18	−0,20	−0,21	−0,24	−0,27	−0,28	−0,30	—	−0,37		
0,39	—	—	0,77	1,02	1,55	—	—	—	—	5,58	27,00	→
−0,04	—	—	−0,06	−0,08	−0,09	—	—	—	—	−0,16		
0,50	—	—	0,98	1,35	2,05	—	—	—	—	5,38	26,85	→
−0,07	—	—	−0,08	−0,09	−0,13	—	—	—	—	−0,26		
−0,52	—	—	−0,99	1,35	−2,09	—	—	—	—	−5,82	26,80	←
0,16	—	—	0,21	0,24	0,25	—	—	—	—	0,39		
0,17	—	—	0,34	0,46	0,70	1,32	2,17	—	—	4,54	27,70	→
0,04	—	—	0,05	0,08	0,08	0,10	0,13	—	—	0,14		
−0,18	—	—	−0,36	−0,07	−0,68	1,12	−1,54	−3,13	—	−5,03	28,00	←
0,06	—	—	0,07	0,10	0,12	0,13	0,16	0,17	—	0,18		
−0,10	—	—	−0,23	−0,32	−0,48	−0,97	−1,59	—	—	−4,38	27,80	←
0,04	—	—	−0,07	−0,07	−0,07	−0,07	−0,04	—	—	−0,08		

Resultate der Knickungsproben der II. Serie.

Lieferant: **Bell & Co., Kriens.** Kreuzprofil aus *2 Zehner-Winkeln* 10/10 ; ..
Art der Einspannung: *Spitzenlagerung.*
$J_{max} = 1045{,}48\ cm^4$; $J_{min} = 579{,}18\ cm^4$; $i_{max} = 5{,}21\ cm$; i_{min} 3,88 cm ;
Querschnitts-Inhalt im Mittel: $F = 38{,}54\ cm^2$.

Lauf. Nr.	Urpsr. Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	$\frac{l}{i}$	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l = m$	Knickrichtung	$X : Y$ unmittelbar nach Erreichen der Knickkraft	Beobachtete Knickkraft: absolut $N = t$	Beobachtete Knickkraft: spezif. β_k $t\ cm^2$	Berechnete Knickkraft β_k $t\ cm^2$	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
1	616	641	165	viernietige Blechstreifen	300		0,21 : 5,77	22,20	0,58			für ε = 2110 ... wird aus
2	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		0,39 : 4,84	23,20	0,60			$\beta_k = \varepsilon\pi^2 \frac{1}{\sqrt{\ }}$
								Mittel	0,59	0,76	−28,8	
3	616	641	165	viernietige Blechstreifen	200		4,60 : 0,97	28,50	0,74			β_k = 0,7[illegible]
4	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		2,37 : 9,33	29,20	0,76			oder N = 20,19 t
								Mittel	0,75	0,76	−1,3	
5	616	641	165	viernietige Blechstreifen	150		5,72 : 0,57	26,60	0,69			—
6	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		5,60 : 1,33	27,60	0,72			
								Mittel	0,71	0,76	−7,1	*Viernietige Blechstreifen*
7	616	641	165	viernietige Blechstreifen	120		4,44 : 0,18	28,35	0,74			besser in 2 Fällen im Mittel um 4,2 %
8	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		5,18 : 0,83	26,50	0,69			
								Mittel	0,72	0,76	−5,6	
9	616	641	165	viernietige Blechstreifen	100		4,93 : 0,69	27,10	0,70			
10	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		5,37 : 0,37	28,05	0,73			*Zweinietige Kreuzplatten*
								Mittel	0,72	0,76	−5,6	besser in 5 Fällen im Mittel um 3,6 %
11	616	641	165	viernietige Blechstreifen	75		5,58 : 0,16	27,00	0,70			
12	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		5,38 : 0,26	26,85	0,70			
								Mittel	0,70	0,76	−8,6	
13	616	641	165	viernietige Blechstreifen	60		5,82 : 0,39	26,80	0,70			
14	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		4,54 : 0,14	27,70	0,72			
								Mittel	0,71	0,76	7,0	
15	616	641	165	viernietige Blechstreifen	50		5,03 : 0,18	28,00	0,73			
16	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		4,38 : 0,08	27,80	0,72			
								Mittel	0,73	0,76	−4,1	

Resultate der Knickungsproben der III. Serie.

Lieferant: **Buss & Co., Basel.** Kreuzprofil aus *2 Zwölfer-Winkeln* $12/12/_{1,1}$.
Art der Einspannung: *Spitzenlagerung.*
$J_{max} = 1810{,}2\ cm^4$; $J_{min} = 1034{,}7\ cm^4$; $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $i_{min} = 4{,}57\ cm$;
Querschnitts-Inhalt im Mittel: $F = 49{,}50\ cm^2$.

Lauf. Nr.	Urpsr. Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	$\frac{l}{i}$	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l = m$	Knickrichtung	$X : Y$ unmittelbar nach Erreichen der Knickkraft	Beobachtete Knickkraft: absolut $N = t$	spezif. β_k t/cm^2	Berechnete Knickkraft β_k t/cm^2	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
1	610	635	139	viernietige Blechstreifen	300		1,95 : 5,54	37,50	0,76			für $\frac{l}{i} = 139$ liefert *Euler's* Formel für $\varepsilon = 2127\ t/cm^2$ $\beta_k = \pi^2 \varepsilon \frac{1}{\left(\frac{l}{i}\right)^2}$ $= 1{,}09\ t/cm^2$ oder $N = 53{,}96\ t.$
2	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		0,14 : 5,55	38,75	0,78			
								Mittel	0,77	1,09	−41,6	
3	610	635	139	viernietige Blechstreifen	200		3,63 : 4,43	49,25	0,99			
4	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		0,37 : 10,28	46,12	0,93			
								Mittel	0,96	1,09	−13,6	
5	610	635	139	viernietige Blechstreifen	150		6,36 : 0,83	51,00	1,03			
6	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		0,54 : 5,58	42,75	0,87			
								Mittel	0,95	1,09	−14,7	
7	610	635	139	viernietige Blechstreifen	120		4,71 : 4,67	49,50	1,00			
8	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		1,71 : 7,27	45,90	0,93			*Viernietige Blechstreifen:* besser in 5 Fällen im Mittel um 6,8 %.
								Mittel	0,97	1,09	−12,4	
9	610	635	139	viernietige Blechstreifen	100		4,63 : 2,55	47,88	0,97			
10	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		5,80 : 0,03	48,75	0,99			
								Mittel	0,98	1,09	−11,2	
11	610	635	139	viernietige Blechstreifen	75		5,24 : 1,30	50,60	1,02			*Zweinietige Kreuzplatten:* besser in 3 Fällen im Mittel um 3,2 %.
12	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		4,44 : 7,66	49,50	1,00			
								Mittel	1,01	1,09	−7,9	
13	610	635	139	viernietige Blechstreifen	60		4,92 : 0,19	50,20	1,01			
14	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		5,12 : 2,60	52,50	1,06			
								Mittel	1,04	1,09	− 4,8	
15	610	635	139	viernietige Blechstreifen	50		5,41 : 1,32	51,70	1,04			
16	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		6,16 : 0,17	51,12	1,03			
								Mittel	1,04	1,09	− 4,8	

III. Serie; Lieferant: **Buss & Co.**, *Brückenbauanstalt, Basel.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 1810{,}2\ cm^4$; $J_{min} = 1034{,}7\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $i_{min} = 4{,}57\ cm$;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung / cm		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: Null-Last	1,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	32,0	34,0
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	0,00	0,05	0,10	0,18	0,32	0,49	0,68	0,79	0,95
			lotrecht	0,00	−0,01	0,10	0,17	0,36	0,65	1,04	1,34	1,81	
2	zweinietige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	−0,01	−0,02	−0,03	−0,06	
			lotrecht	0,00	0,02	0,05	0,13	0,21	0,36	0,56	0,76	1,02	
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,01	0,07	0,06	0,06	0,09	0,12	0,15	0,17	
			lotrecht	0,00	0,00	0,02	0,03	0,05	0,10	0,14	0,16	0,...	
4	zweinietige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	0,01	0,01	0,00	−0,01	−0,02	−0,03	−0,03	−0,06	
			lotrecht	0,00	0,03	0,04	0,08	0,09	0,12	0,18	0,21	0,29	
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	0,01	0,04	0,05	0,07	0,10	0,14	—	0,22	
			lotrecht	0,00	0,01	0,02	0,01	−0,02	−0,04	−0,06	—	−0,07	
6	zweinietige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	0,02	0,06	0,09	0,15	0,20	0,28	—	0,41	
			lotrecht	0,00	−0,04	−0,02	−0,08	−0,05	−0,11	−0,20	—	−0,2...	
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	0,02	0,04	0,06	0,06	0,10	0,13	—	0,17	
			lotrecht	0,00	−0,13	−0,17	−0,23	−0,30	−0,40	−0,56	—	−0,68	
8	zweinietige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	0,04	0,06	0,09	0,13	0,17	0,26	—	0,33	
			lotrecht	0,00	−0,04	−0,06	−0,13	−0,17	−0,23	−0,31	—	−0,43	

Kreuzprofil aus 2 *Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 610$ *cm*; *Querschnittsfläche:* $F = 49{,}50$ *cm*²;

Wirksame » $l = 635$ » ; *Spitzenlagerung.*

Stabquerschnittes in $\frac{1}{100}$ *cm* bei einer Belastung in *t*.											*Knickkraft N t*	*Richtung der Knickung*
38,0	40,0	42,0	44,0	46,0	47,0	48,0	49,0	50,0	51,0	unmittelbar nach Eintritt der Knickung		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,95	37,50	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,54		
0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,14	38,75	
2,74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,54		
0,25	0,31	0,39	0,52	0,76	0,93	1,20	1,84	—	—	3,63	49,25	
0,28	0,35	0,40	0,53	0,72	0,86	0,99	1,35	—	—	4,43		
−0,05	−0,06	−0,07	−0,09	−0,11	—	—	—	—	—	−0,37	46,12	
0,29	0,38	0,44	0,58	1,20	—	—	—	—	—	10,28		
0,30	0,37	0,45	0,60	0,82	0,96	1,17	1,54	2,14	3,98	6,36	51,00	
−0,11	−0,13	−0,14	−0,18	−0,23	−0,29	−0,31	−0,34	−0,39	−0,58	−0,83		
0,58	0,73	0,95	—	—	—	—	—	—	—	−0,54	42,75	
−0,41	−0,54	−0,97	—	—	—	—	—	—	—	−5,58		
0,23	0,28	0,30	0,38	0,46	0,50	0,59	0,75	—	—	4,71	49,50	
−0,88	−1,00	−1,20	−1,39	−1,68	−1,92	−2,19	−2,67	—	—	−4,67		
0,48	0,60	0,73	0,99	—	—	—	—	—	—	1,71	45,90	
0,57	−0,66	−0,82	−1,06	—	—	—	—	—	—	−7,27		

III. Serie; Lieferant: **Buss & Co.,** *Brückenbauanstalt, Basel.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 1810{,}2\ cm^4$; $J_{min} = 1034{,}7\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 6{,}05\ cm$; $i_{min} = 4{,}57\ cm$;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung *l cm*		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: *Null-Last*	1,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	32,0	34,0
9	viernietige Blechstreifen	100	wagrecht	0,00	0,01	−0,03	−0,08	−0,10	−0,18	−0,26	—		−0,39
			lotrecht	0,00	0,02	0,07	0,11	0,17	0,27	0,37	—		0,47
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wagrecht	0,00	0,04	0,08	0,14	0,22	0,32	0,47	—		0,64
			lotrecht	0,00	−0,06	−0,04	0,06	−0,09	−0,10	−0,11	—		−0,13
11	viernietige Blechstreifen	75	wagrecht	0,00	0,03	0,04	0,05	0,10	0,11	0,18	—		0,24
			lotrecht	0,00	−0,02	−0,02	−0,07	−0,14	−0,16	−0,24	—		−0,33
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wagrecht	0,00	0,03	0,04	0,05	0,06	0,09	0,11	—		0,14
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	−0,04	−0,08	−0,09	−0,13	—		−0,17
13	viernietige Blechstreifen	60	wagrecht	0,00	−0,01	0,01	0,03	0,03	0,07	0,12	—		0,18
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,06	—		0,04
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wagrecht	0,00	0,03	0,04	0,05	0,09	0,09	0,14	—		0,18
			lotrecht	0,00	0,03	0,03	0,08	0,09	0,18	0,26	—		0,32
15	viernietige Blechstreifen	50	wagrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	−0,02	—		−0,02
			lotrecht	0,00	−0,03	−0,06	−0,10	−0,13	−0,18	−0,23	—		−0,32
16	zweinietige Kreuzplatten	50	wagrecht	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,08	0,12	—		0,17
			lotrecht	0,00	−0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	—		0,01

Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 610$ *cm*; *Querschnittsfläche:* $F = 49{,}50$ *cm²*;

Wirksame » $l = 635$ *cm*; *Spitzenlagerung.*

Stabquerschnittes in $\frac{+}{1/100}$ *cm* bei einer Belastung in *t*.											*Knickkraft Nt*	*Richtung der Knickung*
38,0	40,0	42,0	44,0	46,0	47,0	48,0	49,0	50,0	51,0	unmittelbar nach Eintritt der Knickung		
−0,55	−0,68	−0,87	−1,16	−1,65	−2,11	—	—	—	—	−4,63	47,88	←
0,61	0,68	0,77	0,92	1,12	1,28	—	—	—	—	2,55		
0,90	1,09	1,32	1,69	2,23	2,60	3,25	—	—	—	5,80	48,75	→
−0,13	−0,15	−0,17	−0,17	−0,25	−0,25	−0,21	—	—	—	0,03		
0,33	0,40	0,50	0,62	0,83	0,99	1,21	1,54	2,09	—	5,24	50,6	↘
−0,40	−0,44	−0,49	−0,56	−0,61	−0,63	−0,68	−0,72	0,79	—	−1,30		
0,20	0,26	0,33	0,42	0,64	0,79	1,01	1,49	—	—	4,44	49,5	↓
−0,23	−0,25	−0,29	0,34	−0,41	−0,46	−0,52	−0,59	—	—	−7,66		
0,21	0,25	0,32	0,42	0,61	0,73	0,94	1,29	2,29	—	4,92	50,20	→
0,09	0,09	0,13	0,11	0,15	0,14	0,17	0,16	0,19	—	0,19		
0,22	0,26	0,33	0,41	0,52	0,56	0,68	0,82	1,06	1,41	5,12	52,50	↗
0,42	0,43	0,53	0,58	0,67	0,72	0,77	0,82	0,92	0,98	2,60		
−0,06	−0,06	−0,08	−0,11	−0,15	−0,19	−0,27	−0,35	0,52	−0,88	−5,41	51,70	←
−0,27	−0,43	−0,46	−0,53	−0,55	−0,60	−0,65	−0,66	−0,70	−0,77	1,31		
0,21	0,26	0,32	0,42	0,59	0,69	0,83	1,11	1,52	2,73	6,16	51,12	→
0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	−0,17		

IV. Serie; Lieferant: **Eisenwerk Kaiserslautern,** *Brückenbauanstalt.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 662{,}6\ cm^4$; $J_{min} = 662{,}6\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 3{,}72\ cm$; $i_{min} = 3{,}72\ cm$.

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung *l cm*		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: *Null-Last*	1,0	5,0	10,0	15,0	20,0	22,0	24,0	25,0	26,0
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	0,09	0,27	0,60	1,51	2,71	—	—	—	
			lotrecht	0,00	−0,01	−0,07	−0,06	−0,15	−0,25	—	—	—	
2	zweinietige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	−0,05	−0,15	−0,34	−0,91	−1,45	—	—	—	
			lotrecht	0,00	−0,02	0,00	0,02	0,12	0,19	—	—	—	
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,00	−0,04	−0,10	−0,22	−0,33	−0,53	−0,67	−0,97	
			lotrecht	0,00	0,00	0,05	0,21	0,50	0,70	1,04	1,43	2,08	
4	zweinietige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	−0,03	−0,13	−0,34	−0,75	−1,08	−1,78	−2,48	—	
			lotrecht	0,00	−0,04	−0,03	−0,03	−0,09	−0,14	−0,21	−0,30	—	
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	0,01	0,01	−0,01	−0,04	−0,04	−0,09	−0,09	−0,07	
			lotrecht	0,00	0,02	0,08	0,14	0,37	0,47	0,71	0,89	1,15	
6	zweinietige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	0,01	0,04	0,10	0,21	0,30	0,39	0,48	0,71	
			lotrecht	0,00	−0,05	−0,05	−0,09	−0,13	−0,18	−0,23	−0,28	−0,37	
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	0,06	0,13	0,26	0,52	0,73	0,94	1,16	1,47	
			lotrecht	0,00	0,01	0,00	−0,03	−0,07	−0,09	−0,12	−0,15	−0,20	
8	zweinietige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	−0,01	−0,02	−0,04	−0,08	−0,12	−0,17	−0,22	—	
			lotrecht	0,00	0,00	−0,04	−0,06	−0,10	−0,11	−0,13	−0,15	—	

Kreuzprofil aus *4 Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 8a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 616$ *cm*; *Querschnittsfläche:* $F = 47{,}84$ *cm²*;

Wirksame » $l = 640$ » ; *Spitzenlagerung.*

Stabquerschnittes in $\frac{1}{100}$ *cm* bei einer Belastung in *t*.										unmittelbar nach Eintritt der Knickung	*Knickkraft N t*	*Richtung der Knickung*
27,0	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	—	—	—	—			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,13	22,80	→
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	−0,36		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	−4,84	23,80	←
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,95		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	−2,55	26,65	↖
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,64		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	−5,68	25,85	←
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	−0,97		
−0,02	0,37	—	—	—	—	—	—	—	—	2,14	28,20	↗
1,56	2,61	—	—	—	—	—	—	—	—	4,67		
0,93	1,52	3,43	—	—	—	—	—	—	—	5,44	28,50	↘
−0,42	−0,59	−0,81	—	—	—	—	—	—	—	−2,19		
1,89	2,71	4,14	—	—	—	—	—	—	—	5,91	28,62	→
−0,23	−0,33	−0,47	—	—	—	—	—	—	—	−0,79		
−0,36	—	—	−0,98	−1,13	−3,00	—	—	—	—	−4,51	30,05	←
−0,21	—	—	−0,31	−0,35	−0,47	—	—	—	—	−0,53		

IV. Serie; Lieferant: **Eisenwerk Kaiserslautern,** *Brückenbauanstalt.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 662{,}6\ cm^4$; $J_{min} = 662{,}6\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 3{,}72\ cm$; $i_{min} = 3{,}72\ cm$;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Konstruktion des Stabes: Knotenentfernung / cm		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: Null-Last	1,0	5,0	10,0	15,0	20,0	22,0	24,0	25,0	26,0
9	viernietige Blechstreifen	100	wagrecht	0,00	0,11	0,23	0,42	0,79	1,03	1,43	1,67	2,07	
			lotrecht	0,00	−0,04	−0,12	−0,24	−0,39	−0,54	−0,74	−0,83	−1,02	
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wagrecht	0,00	0,06	0,17	0,33	0,63	0,91	1,20	1,51	1,93	
			lotrecht	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	
11	viernietige Blechstreifen	75	wagrecht	0,00	0,00	−0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	−0,01	0,01	
			lotrecht	0,00	−0,05	−0,12	−0,18	−0,33	−0,45	−0,57	−0,70	−0,73	
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wagrecht	0,00	0,00	0,13	0,30	0,60	0,85	1,10	1,36	–	
			lotrecht	0,00	−0,01	−0,07	−0,03	−0,03	−0,04	−0,05	−0,07	–	
13	viernietige Blechstreifen	60	wagrecht	0,00	−0,02	−0,04	−0,04	−0,08	−0,10	−0,12	−0,14	0,15	
			lotrecht	0,00	−0,03	−0,14	−0,33	−0,67	−0,91	−1,16	−1,41	−1,53	
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wagrecht	0,00	0,01	0,04	0,09	0,17	0,25	0,33	0,41	0,47	
			lotrecht	0,00	−0,01	−0,09	−0,16	−0,33	−0,44	−0,55	−0,66	−0,82	
15	viernietige Blechstreifen	50	wagrecht	0,00	−0,01	−0,03	−0,09	−0,22	−0,30	−0,38	−0,46	−0,57	
			lotrecht	0,00	−0,01	−0,05	−0,05	−0,09	−0,11	−0,13	−0,15	−0,16	
16	zweinietige Kreuzplatten	50	wagrecht	0,00	0,01	0,04	0,07	0,15	0,16	0,22	0,26	0,32	
			lotrecht	0,00	0,03	0,00	0,02	0,07	0,10	0,13	0,17	0,18	

Kreuzprofil aus *2 Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 616$ *cm*; *Querschnittsfläche:* $F = 47{,}84$ *cm*²;

Wirksame » $l = 640$ » ; *Spitzenlagerung.*

Stabquerschnittes in $+\frac{}{100}$ *cm* bei einer Belastung in *t*.											*Knickkraft N t*	*Richtung der Knickung*
27,0	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	30,5	31,0	—	—	unmittelbar nach Eintritt der Knickung		
2,72	4,48	—	—	—	—	—	—	—	—	5,32	28,05	↘
1,32	−2,25	—	—	—	—	—	—	—	—	−3,24		
2,83	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,64	27,50	↗
0,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,13		
0,03	0,03	—	0,03	0,03	0,03	—	—	—	—	−0,77	30,50	←
0,97	−1,18	—	−1,58	−1,88	−2,33	—	—	—	—	−5,75		
2,12	3,03	4,50	—	—	—	—	—	—	—	6,28	28,70	→
0,09	−0,12	−0,17	—	—	—	—	—	—	—	−0,54		
−0,17	−0,22	−0,22	−0,31	—	—	—	—	—	—	−1,35	29,50	↓
−2,04	−2,64	−3,10	−3,87	—	—	—	—	—	—	−6,83		
0,53	0,82	—	1,19	—	—	—	—	—	—	3,78	29,50	↗
0,98	−1,27	—	−1,79	—	—	—	—	—	—	−4,22		
0,69	−0,84	—	−1,10	−1,29	−1,56	−2,02	−3,17	—	—	−5,64	31,20	←
0,17	−0,22	—	−0,25	−0,28	−0,34	−0,34	−0,36	—	—	−0,64		
0,39	0,48	—	0,66	—	0,96	—	1,64	—	—	4,40	31,50	↗
0,19	0,25	—	0,29	—	0,37	—	0,57	—	—	1,04		

Resultate der Knickungsproben der IV. Serie.

Lieferant: ***Eisenwerk Kaiserslautern.*** Kreuzprofil aus *4 Winkeleisen*, deutsch. Normalprofil Nr. 8a. Art der Einspannung: *Spitzenlagerung.*

$J_{max} = 662{,}6\ cm^4$; $J_{min} = 662{,}6\ cm^4$; $i_{max} = 3{,}72\ cm$; $i_{min} = 3{,}72\ cm$;

Querschnitts-Inhalt im Mittel: $F = 47{,}84\ cm^2$.

Lauf. Nr.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	$\frac{l}{i}$ min	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l = m$	Knickrichtung	$X : Y$ unmittelbar nach Erreichen der Knickkraft	Beobachtete Knickkraft: absolut $N = t$	Beobachtete Knickkraft: spezif. β_k t/cm^2	Berechnete Knickkraft β_k t/cm^2	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
1	616	640	172	viernietige Blechstreifen	300		6,13 : 0,36	2,28	0,48			für $\frac{l}{i} = 172$ soll $\beta_k = \pi^2 t \left(\frac{i}{l}\right)^2$ $= 0{,}71\ t/cm^2$ oder $N = 34{,}0$ t.
2	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		4,84 : 0,95	2,38	0,50			
								Mittel	0,49	0,71	−45,0	
3	616	640	172	viernietige Blechstreifen	200		2,55 : 4,64	26,65	0,56			
4	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		5,68 : 0,97	25,85	0,54			
								Mittel	0,55	0,71	−29,1	
5	616	640	172	viernietige Blechstreifen	150		2,14 : 4,67	28,20	0,59			— —
6	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		5,44 : 2,19	28,50	0,60			
								Mittel	0,60	0,71	−18,3	*Viernietige Blechstreifen* besser in 2 Fällen im Mittel um 2,6 %
7	616	640	172	viernietige Blechstreifen	120		5,91 : 0,79	28,62	0,60			
8	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		4,51 : 0,53	30,05	0,63			
								Mittel	0,62	0,71	−14,6	
9	616	640	172	viernietige Blechstreifen	100		5,32 : 3,24	28,05	0,59			
10	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		5,64 : 2,13	27,50	0,57			*Zweinietige Kreuzplatten* besser in 4 Fällen im Mittel um 3,1 %
								Mittel	0,58	0,71	−22,4	
11	616	640	172	viernietige Blechstreifen	75		0,77 : 5,75	28,70	0,60			
12	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		6,28 : 0,54	28,70	0,60			— —
								Mittel	0,60	0,71	−18,3	
13	616	640	172	viernietige Blechstreifen	60		1,35 : 6,83	29,50	0,62			
14	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		3,78 : 4,22	29,50	0,62			
								Mittel	0,62	0,71	−14,6	
15	616	640	172	viernietige Blechstreifen	50		5,64 : 0,64	31,20	0,65			
16	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		4,40 : 1,04	31,50	0,66			
								Mittel	0,66	0,71	−7,6	

Resultate der Knickungsproben der V. Serie.

Lieferant: **Gute-Hoffnungs-Hütte,** *Brückenbauanstalt; Sterkrade.*

Kreuzprofil aus *4 Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Art der Einspannung: *Flächenlagerung.*

$J_{max} = 1602{,}16\ cm^4$; $J_{min} = 1602{,}16\ cm^4$; $i_{max} = 4{,}601\ cm$; $i_{min} = 4{,}601\ cm$;

Querschnitts-Inhalt im Mittel: $F = 75{,}74\ cm^2$.

Lauf. Nr.	Stabl. Urspr. l_0 cm	Stabl. Wirksame l cm	$\frac{l}{i}$	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l = m$	Knickrichtung	$X : Y$ unmittelbar nach Erreichen der Knickkraft	Beobachtete Knickkraft: absolut $N = t$	spezif. β_k t/cm^2	Berechnete Knickkraft β_k t/cm^2	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
1	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	300		*) —	123	1,62			
2	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	134	1,77			Nach: $\beta_k = 3{,}1 - 0{,}0114 \frac{l}{k}$
								Mittel	1,70	2,34	37,6	für $\frac{l}{k} = 66{,}08$ wird
3	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	200		—	141	1,86			$\beta_k = 2{,}34\ t/cm^2$ somit
4	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	141	1,86			$N = 177\ t.$
								Mittel	1,86	2,34	−25,8	
5	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	150		—	145	1,91			
6	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	157	2,07			
								Mittel	1,99	2,34	−17,6	
7	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	120		—	150	1,98			
8	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	167	2,20			*Viernietige Blechstreifen:* besser in 1 Falle im Mittel um 1,9 %.
								Mittel	2,09	2,34	−12,0	
9	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	100		—	153	2,02			
10	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	160	2,11			
								Mittel	2,07	2,34	−13,0	
11	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	75		—	167	2,20			*Zweinietige Kreuzplatten:* besser in 5 Fällen im Mittel um 6,9 %.
12	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	169	2,23			
								Mittel	2,22	2,34	−5,4	
13	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	60		—	157	2,07			
14	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	?	?			
								Mittel	2,07	2,34	−13,0	
15	616	308	66,8	viernietige Blechstreifen	50		—	163	2,15			
16	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»		—	160	2,11			
								Mittel	2,13	2,34	−9,8	

*) Nicht gemessen.

V. Serie; Lieferant: **Gute Hoffnungshütte,** *Brückenbauanstalt, Sterkrade.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 1602{,}2\ cm^4$; $J_{min} = 1602{,}2\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 4{,}60\ cm$; $i_{min} = 4{,}60\ cm$.

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung / cm		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: Null-Last	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	-0,01	0,00	−0,01	−0,02	−0,05	−0,08	−0,10	−0,11	
			lotrecht	0,00	-0,01	−0,02	−0,03	−0,03	−0,05	−0,09	-0,13	−0,20	
2	zweinietige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	-0,01	−0,04	-0,05	-0,07	-0,08	-0,08	-0,10	−0,14	
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,01	−0,01	-0,01	-0,01	-0,02	
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,02	−0,05	-0,08	-0,12	−0,16	
			lotrecht	0,00	0,04	0,07	0,09	0,13	0,14	0,16	0,18	0,22	
4	zweinietige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	-0,02	-0,04	−0,05	−0,07	−0,08	−0,08	−0,09	-0,12	
			lotrecht	0,00	−0,01	−0,03	−0,04	−0,06	-0,09	−0,11	-0,14	−0,19	
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	-0,01	−0,03	−0,04	-0,06	−0,07	−0,10	-0,12	−0,16	
			lotrecht	0,00	-0,01	−0,01	−0,01	−0,02	−0,04	−0,06	−0,06	-0,09	
6	zweinietige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	0,00	−0,01	−0,01	−0,02	−0,04	−0,05	−0,09	−0,09	
			lotrecht	0,00	0,00	−0,04	−0,05	−0,05	−0,06	−0,08	−0,10	−0,12	
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	0,01	−0,03	−0,07	-0,08	−0,09	-0,15	−0,17	−0,24	
			lotrecht	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,07	
8	zweinietige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	(-0,01)	(-0,01)	(-0,03)	(-0,03)	(-0,02)	(-0,06)	(-0,07)	(-0,08)	
			lotrecht	0,00	(0,02)	(0,04)	(0,05)	(0,07)	(0,08)	(0,02)	(0,03)	(0,02)	

Anmerkung: die in ( ) gesetzten Werthe sind unzuverlässig.

Kreuzprofil aus *4 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 616$ *cm*; *Querschnittsfläche:* $F = 75{,}74$ *cm*²;

Wirksame » $l = 308$ » ; *Flächenlagerung.*

Stabquerschnittes in $\frac{1}{1000}$ *cm* bei einer Belastung in *t*.											*Knickkraft Nt*	*Richtung der Knickung*
100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	—	—	unmittelbar nach Eintritt der Knickung		
−0,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	*)	123	↓
−0,31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
−0,17	−0,25	−0,36	—	—	—	—	—	—	—	—	134	←
−0,04	−0,04	−0,09	—	—	—	—	—	—	—	—		
−0,23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	141	↑
0,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
−0,14	−0,16	−0,20	−0,24	—	—	—	—	—	—	—	141	↓
−0,21	−0,29	−0,36	−0,55	—	—	—	—	—	—	—		
−0,18	−0,23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	145	↙
−0,14	−0,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
−0,09	−0,09	−0,10	−0,14	−0,17	—	—	—	—	—	—	157	↙
−0,15	−0,18	−0,21	−0,30	−0,39	—	—	—	—	—	—		
−0,30	−0,37	−0,48	—	—	—	—	—	—	—	—	150	←
0,04	0,04	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—		
−0,09	−0,09	−0,12	−0,15	−0,17	—	—	—	—	—	—	167	←
0,01	0,00	−0,02	−0,06	−0,08	—	—	—	—	—	—		

*) Nicht gemessen.

V. Serie; Lieferant: **Gute Hoffnungs-Hütte,** *Brückenbauanstalt, Sterkrade.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 1602{,}2\ cm^4$; $J_{min} = 1602{,}2\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 4{,}60\ cm$; $i_{min} = 4{,}60\ cm$;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung *l cm*		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: *Null-Last*	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
9	viernietige Blechstreifen	100	wagrecht	0,00	−0,02	−0,04	−0,06	−0,07	−0,10	−0,15	−0,18	−0,22
			lotrecht	0,00	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	−0,03	−0,01	−0,02
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wagrecht	0,00	0,00	−0,02	−0,05	−0,06	−0,08	−0,10	−0,12	−0,16
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	−0,01	0,00	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01
11	viernietige Blechstreifen	75	wagrecht	0,00	−0,04	−0,04	−0,05	−0,07	−0,08	−0,09	−0,12	−0,13
			lotrecht	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wagrecht	0,00	−0,01	−0,02	−0,02	−0,03	−0,04	−0,05	−0,06	−0,07
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
13	viernietige Blechstreifen	60	wagrecht	0,00	−0,03	−0,05	−0,09	−0,11	−0,11	−0,15	−0,18	−0,20
			lotrecht	0,00	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wagrecht	0,00	−0,03	−0,03	−0,04	−0,04	−0,04	−0,04	−0,04	−0,04
			lotrecht	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
15	viernietige Blechstreifen	50	wagrecht	0,00	−0,04	−0,04	−0,05	−0,07	−0,08	−0,08	−0,10	−0,12
			lotrecht	0,00	0,05	0,08	0,11	0,12	0,14	0,15	0,17	0,20
16	zweinietige Kreuzplatten	50	wagrecht	0,00	0,01	−0,01	−0,08	−0,09	−0,09	−0,14	−0,16	−0,17
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	−0,05	−0,06	−0,06	−0,07	−0,08	−0,08

*) Der Stab war mit 185 *t* belastet. Er hatte sich hiebei so weit nach unten durchgebogen, dass er zur Auflage gekommen war. Nach Entfernung der Unterlagen trat das Ausknicken bei nochmaligem Belasten unter 146 *t* ein.

Kreuzprofil aus *4 Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 10a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 616$ *cm*; *Querschnittsfläche:* 75,74 cm^2;

Wirksame » $l = 308$ » ; *Flächenlagerung.*

Stabquerschnittes in η_{100} *cm* bei einer Belastung in *t*.										*Knickkraft N t*	*Richtung der Knickung*
100,0	110,0	120,0	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	—	unmittelbar nach Erreichen der Knickkraft		
−0,29	—	—	—	—	—	—	—	—	*)	153	←
−0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
−0,19	−0,24	−0,29	−0,38	—	—	—	—	—	—	160	←
−0,03	−0,03	−0,04	−0,07	—	—	—	—	—	—		
−0,15	−0,19	−0,24	—	—	—	—	—	—	—	167	←
0,02	0,02	0,00	—	—	—	—	—	—	—		
−0,08	−0,11	−0,14	−0,18	−0,24	—	—	—	—	—	169	←
0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	—	—	—	—	—		
−0,26	−0,28	−0,35	—	—	—	—	—	—	—	157	←
0,08	0,10	0,11	—	—	—	—	—	—	—		
−0,04	−0,03	−0,02	−0,02	−0,02	—	—	—	—	—	(?)*	↓
0,02	−0,11	−0,14	−0,18	−0,22	—	—	—	—	—		
	109										
−0,14	−0,14	—	—	—	—	—	—	—	—	163	↖
0,22	0,26	—	—	—	—	—	—	—	—		
−0,24	−0,27	−0,33	—	—	—	—	—	—	—	160	←
−0,09	−0,11	−0,11	—	—	—	—	—	—	—		

*) Nicht gemessen.

VI. Serie; Lieferant: **Maschinenbau-A.-G.,** *Brückenbauanstalt, Nürnberg.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 2938{,}8\ cm^4$; $J_{min} = 2938{,}8\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 5{,}42\ cm$; $i_{min} = 5{,}42\ cm$.

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung / cm		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: Null-Last	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
1	viernietige Blechstreifen	300	wagrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	00,0	0,00	0,0
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	−0,01	−0,02	−0,02	−0,05	−0,06	−0,6
2	zweinietige Kreuzplatten	300	wagrecht	0,00	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,02	−0,3
			lotrecht	0,00	−0,01	−0,01	−0,02	−0,02	−0,01	−0,02	−0,03	−0,0
3	viernietige Blechstreifen	200	wagrecht	0,00	0,00	−0,01	−0,01	−0,02	−0,03	−0,04	−0,04	−0,0
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,0
4	zweinietige Kreuzplatten	200	wagrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,0
5	viernietige Blechstreifen	150	wagrecht	0,00	−0,01	−0,01	−0,01	−0,02	−0,03	−0,04	−0,04	−0,0
			lotrecht	0,00	−0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,0
6	zweinietige Kreuzplatten	150	wagrecht	0,00	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,0
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	−0,01	−0,01	0,0
7	viernietige Blechstreifen	120	wagrecht	0,00	0,00	−0,01	−0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,0
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,0
8	zweinietige Kreuzplatten	120	wagrecht	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,0
			lotrecht	0,00	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,06	0,0

Kreuzprofil aus *4 Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 616$ *cm*; *Querschnittsfläche:* $F = 100{,}04$ *cm*²;

Wirksame » $l = 308$ » ; *Flächenlagerung.*

Stabquerschnittes in *cm* bei einer Belastung in *t*.												
100,0	110,0	120,0	140,0	160,0	180,0	200,0	220,0	240,0	260,0	unmittelbar nach Eintritt der Knickung	*Knickkraft Nt*	*Richtung der Knickung*
0,00	0,01	0,02	0,06	0,12	—	—	—	—	—	*)	203	
0,07	−0,08	−0,09	−0,14	−0,23	—	—	—	—	—	—		
−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	0,00	0,00	—	—	—	—	—	220	
−0,04	−0,05	−0,05	−0,08	−0,14	−0,23	—	—	—	—	—		
−0,07	−0,08	−0,09	−0,12	−0,17	−0,26	—	—	—	—	—	226	
0,01	0,01	0,01	−0,02	−0,05	−0,07	—	—	—	—	—		
0,01	0,02	0,03	0,06	0,11	0,17	0,26	—	—	—	—	236	
0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	—	—	—	—		
−0,06	−0,07	−0,06	−0,07	−0,07	−0,08	0,07	—	—	—	—	243	
0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,20	—	—	—	—		
0,00	0,01	0,01	0,03	0,07	0,10	0,18	—	—	—	—	248	
−0,01	−0,02	−0,01	−0,04	−0,07	−0,07	−0,16	—	—	—	—		
0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,14	0,19	0,26	—	—	266	
0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,07	0,10	0,13	0,18	—	—		
0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	—	—	—	266	
0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,12	0,16	0,22	—	—	—		

*) Nicht gemessen.

VI. Serie; Lieferant: **Maschinenbau A.-G.,** *Brückenbauanstalt, Nürnberg.*

Trägheitsmomente: $J_{max} = 2938{,}8\ cm^4$; $J_{min} = 2938{,}8\ cm^4$;

Trägheitshalbmesser: $i_{max} = 5{,}42\ cm$; $i_{min} = 5{,}42\ cm$;

Lauf. Nr.	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung *l cm*		Lagenänderung des Schwerpunktes des mittleren: *Null-Last*	10,0	20,0	30,0	40,0	50.0	60,0	70,0	80,0	90,0
9	viernietige Blechstreifen	100	wagrecht	0,00	−0,01	−0,02	−0,04	−0,06	−0,06	−0,07	−0,08	−0,08
			lotrecht	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
10	zweinietige Kreuzplatten	100	wagrecht	0,00	−0,02	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01
			lotrecht	0,00	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,02	−0,04	−0,04	−0,05
11	viernietige Blechstreifen	75	wagrecht	0,00	−0,01	−0,04	−0,05	−0,07	−0,07	−0,06	−0,06	−0,07
			lotrecht	0,00	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01
12	zweinietige Kreuzplatten	75	wagrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	−0,01	−0,01	−0,01	−0,01
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	−0,01	−0,01	−0,02	−0,03
13	viernietige Blechstreifen	60	wagrecht	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			lotrecht	0,00	0,00	0,00	−0,01	−0,01	−0,01	−0,02	−0,02	−0,02
14	zweinietige Kreuzplatten	60	wagrecht	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	0,07
			lotrecht	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
15	viernietige Blechstreifen	50	wagrecht	0,00	−0,02	−0,04	−0,05	−0,06	−0,07	−0,07	−0,08	0,09
			lotrecht	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
16	zweinietige Kreuzplatten	50	wagrecht	0,00	−0,01	−0,02	−0,02	−0,02	−0,02	−0,03	−0,02	−0,02
			lotrecht	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Kreuzprofil aus *4 Winkeleisen,* deutsches Normalprofil Nr. 12a.

Ursprüngliche Stablänge: $l_0 = 616\ cm$; *Querschnittsfläche:* $F = 100{,}04\ cm^2$;

Wirksame » $l = 308$ » ; *Flächenlagerung.*

Stabquerschnittes in *cm* bei einer Belastung in *t*.											*Knickkraft N t*	*Richtung der Knickung*
100,0	110,0	120,0	140,0	160,0	180,0	200,0	220,0	240,0	260,0	unmittelbar nach Eintritt der Knickung		
-0,08	−0,08	-0,09	-0,10	−0,12	−0,14	-0,17	-0,21	—	—	*)	266	↑
0,04	0,05	0,05	0,03	0,05	0,07	0,10	0,13	—	—	—		
0,01	-0,01	0,01	0,05	0,09	0,12	0,18	—	—	—	—	256	↘
−0,07	-0,06	-0,07	−0,08	0,13	0,16	−0,23	—	—	—	—		
0,10	-0,11	0,12	-0,14	−0,17	-0,21	−0,25	−0,31	—	—	—	266	←
0,02	-0,02	−0,02	−0,02	-0,02	-0,03	0,03	−0,05	—	—	—		
-0,02	−0,02	−0,02	- 0,01	0,02	0,03	0,07	—	—	—	—	252	↓
-0,04	−0,05	−0,06	−0,08	-0,10	−0,14	-0,18	—	—	—	—		
0,00	0,00	0,00	−0,01	0,00	0,01	0,04	0,06	—	—	—	275	↓
-0,03	−0,04	-0,04	−0,06	−0,06	-0,09	-0,12	-0,17	—	—	—		
0,09	0,09	0,10	0,12	0,17	0,21	0,28	0,40	—	—	—	253	→
0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	-0,04	—	—	—		
0,09	-0,08	-0,08	−0,12	−0,13	0,15	−0,22	−0,32	—	—	—	245	←
0,01	0,01	0,01	0,01	-0,02	−0,02	−0,03	−0,06	—	—	—		
-0,02	−0,02	-0,01	- 0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	—	—	283	↑
0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	—	—		

*) Nicht gemessen.

Resultate der Knickungsproben der VI. Serie.

Liefernt: **Maschinenbau-A.-G., Nürnberg.** Kreuzprofil aus *4 Winkeleisen*, deutsches Normalprofil Nr. 12a. Art der Einspannung: *Flächenlagerung*. $J_{max} = 2938{,}8\ cm^4$; $J_{min} = 2938{,}8\ cm^4$; $i_{max} = 5{,}42\ cm$; $i_{min} = 5{,}42\ cm$; *Querschnitts-Inhalt* im Mittel: $F = 100{,}04\ cm^2$.

Lauf. Nr.	Ursprüngliche Stablänge l_0 cm	Wirksame Stablänge l cm	$\frac{l}{i}$	Konstruktion des Stabes: Art der Knotenbildung	Knotenentfernung $l = m$	Knickrichtung (y : x) unmittelbar nach Erreichen der Knickkraft	Beobachtete Knickkraft: absolut N t	spezif. β_k t/cm²	Berechnete Knickkraft β_k t/cm²	Diff. in % der beobacht. Knickkraft	Bemerkungen
1	616	308	568	viernietige Blechstreifen	300	*) —	203	2,03			
2	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	—	220	2,20			Nach: $\beta_k = 3{,}10 - 0{,}011 \frac{l}{i}$
							Mittel	2,12	2,45	−15,6	für $\frac{l}{i} = 56$
3	616	308	568	viernietige Blechstreifen	200	—	226	2,26			berechnet wird
4	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	—	236	2,36			$\beta_k = 2{,}45$ t/cm²
							Mittel	2,31	2,45	−6,1	somit
5	616	308	568	viernietige Blechstreifen	150	—	243	2,43			$N = 246$ t.
6	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	—	248	2,48			— —
							Mittel	2,46	2,45	+0,4	
7	616	308	568	viernietige Blechstreifen	120	—	266	2,66			
8	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	—	266	2,66			*Viernietige Blechstreifen* besser in 3 Fällen im Mittel um 6,0 %
							Mittel	2,66	2,45	+7,9	
9	616	308	568	viernietige Blechstreifen	100	—	266	2,66			
10	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	—	256	2,56			
							Mittel	2,61	2,45	+6,1	*Zweinietige Kreuzplatten*
11	616	308	568	viernietige Blechstreifen	75	—	266	2,66			besser in 4 Fällen im Mittel um 7,8 %
12	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	—	252	2,52			
							Mittel	2,59	2,45	+5,4	
13	616	308	568	viernietige Blechstreifen	60	—	275	2,75			
14	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	—	253	2,53			
							Mittel	2,64	2,45	+7,2	
15	616	308	568	viernietige Blechstreifen	50	—	245	2,45			
16	»	»	»	zweinietige Kreuzplatten	»	—	283	2,83			
							Mittel	2,64	2,45	+7,2	

*) gemessen.

Schlussfolgerungen.

1. Die an Druckstäben mit Kreuzprofil aus 4 Winkeleisen in Charlottenburg ausgeführten Knickversuche bestätigen unsere Knickungsformel für das Flusseisen:

$$\beta_k = 3{,}10 - 0{,}0114\left(\frac{l}{i}\right)$$

und die Zulässigkeit bei unwandelbarer Flächenlagerung der Druckstäbe selbst bei Längenverhältnissen, die kleiner sind, als zur Erzeugung vorwiegend elastischer Formänderung nötig, die Knicklänge $l = 0{,}5\ l_0$ d. h. = der halben Stablänge zu wählen und in Rechnung zu stellen.

Aus Gründen der Verschiedenheit der Materialqualität, mehr noch aus Gründen der Einflüsse der Anarbeitung des Materials, war eine genaue Übereinstimmung der Resultate der Vorausberechnungen und der Versuchsergebnisse ausgeschlossen. Die Charlottenburger Versuche geben denn auch im Vergleiche zur Rechnung in einer der Versuchsreihen etwas zu hohe, in den anderen etwas zu niedrige Zahlenwerte.

So finden wir die *Knickspannung* aus der :

	Beobachtung; t/cm^2	Berechung; t/cm^2	Differenz %
in der *V. Serie,* im günstigsten Fall:	2,22	2,34	—5,4
» » *VI.* » » » » :	2,66	2,45	+7,9

2. Im Grossen und Ganzen erscheint die Verbindungsart der Winkeleisen in Druckstäben mit Kreuzquerschnitt durch ***viernietige Blechstreifen*** *den* ***zweinietigen Kreuzplatten*** *gleichwertig.* Unsere Versuche sprechen dafür, dass:

bei den *Druckstäben mit Kreuzquerschnitt* aus 2 Winkeleisen die viernietigen Blechstreifen den zweinietigen Kreuzplatten, während

bei den vierwinkligen *Druckstäben mit Kreuzquerschnitt* die zweinietigen Kreuzplatten den viernietigen Blechstreifen etwas überlegen sind; die Unterschiede sind indessen unwesentlich, und möglicherweise durch die Verschiedenheit der Anarbeitung hervorgebracht; vrgl. die folgende Zusammenstellung.

	4-nietige Blechstreifen.	*2-nietige Kreuzplatten.*
	2-winklige Druckstäbe.	
Serie 1	besser in 5 Fällen um 12,8 %;	besser in 2 Fällen um 18,0 %;
» *2*	» » 2 » » 4,3 » ;	» » 5 » » 3,6 » ;
» *3*	» » 5 » » 6,3 » ;	» » 3 » » 3,2 » ;
	Zusammen: 12 Fälle um 8,7 %*);	**Zusammen**: 10 Fälle um 6,4 %*);
	4-winklige Druckstäbe.	
Serie 4	besser in 2 Fällen um 3,6 %;	besser in 4 Fällen um 3,1 %;
» *5*	» » 1 Falle » 1,9 » ;	» » 5 » » 6,9 » ;
« *6*	» » 3 Fällen » 6,0 » ;	» » 4 » » 7,6 » ;
	Zusammen: 6 Fälle um 4,5 %*);	**Zusammen**: 13 Fälle um 5,9 %*).

3. Die vorliegenden Versuchsreihen sind zur endgültigen Austragung der Frage nach den zulässigen Abständen der Verbindungsstellen getrennter Winkeleisen in kreuzförmigen Druckstreben unzulänglich. Die Entfernung der Verbindungsstellen, bei welcher die Knickfestigkeit constant wird, ihren Grösstwert erreicht und die Stäbe in der Richtung des kleinsten Biegewiderstandes knicken, schwankt in unseren Versuchen zwischen weit auseinander liegenden Grenzen, deren Festsetzung an und für sich nicht ganz einwandfrei ist. Unsere Versuche ergaben *für Flusseisen:*

in der	*1ten*	*Serie*	einen	*Knotenabstand*	von	a	= ca.	57 i
» »	*2ten*	»	»	»	»	=	»	67 i
» »	*3ten*	»	»	»	»	=	»	29 i
» »	*4ten*	»	»	»	»	=	»	35 i
» »	*5ten*	»	»	»	»	=	»	45 i
» »	*6ten*	»	»	»	»	=	»	75 i
					Durchschnittlich	a	= ca.	50 i

wo i den kleinsten Trägheitshalbmesser des Einzelwinkels bedeutet.

4. Für Stäbe in Schweisseisen wird sich bis auf weiteres empfehlen, den Abstand der Verbindungsstellen getrennter Winkel (oder anderer Formeisensorten) von dem für das Flusseisen ermittelten Mittelwerte unter Berücksichtigung der Verschiedenheit der Elasticitätsgrenzen dieser Metalle abzuleiten.

*) Massgebender und nicht arithmetischer Durchschnitt.

Für das Schweisseisen in Stäben liegt die Elasticitätsgrenze bei ca. 1,6 t/cm^2, für das Flusseisen bei ca. 2,2 t/cm^2. Demnach wird man den Abstand der fraglichen Verbindungsstellen

bei *Schweisseisen-Stäben* zu:

$$a = 50 \cdot \frac{1{,}6}{2{,}2} \cdot i = 36\, i$$

zu wählen haben, wenn nach wie vor i den kleinsten Trägheitshalbmesser des Teilprofils des Druckstabes bedeutet.

5. Resultate der Untersuchung des Verhaltens des schmiedbaren Eisens in der excentrischen Druckprobe.

a. Allgemeines.

Die experimentelle Untersuchung des Verhaltens des schmiedbaren Eisens in der excentrischen Druckprobe ist älteren Datums (1888—1889); sie wurde gleichzeitig mit der Untersuchung des Abhängigkeitsverhältnisses der Schwerpunktsspannungen zum massgebenden Längenverhältnis centrisch beanspruchter Druckstäbe in schmiedbarem Eisen durchgeführt und sind die gewonnenen Resultate gleichzeitig mit letztern im IV. Hefte der offiziellen Mitteilungen der schweiz. Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum (1890) veröffentlicht worden. Seither und namentlich durch die neuern, in vorliegender Arbeit besprochenen Versuche, haben sich die Anschauungen abgeklärt und veranlassten eine vollständige Umarbeitung der Resultate, die neues Licht in den Sachverhalt und ein Zahlenmaterial lieferte, durch welches das Verfahren der Dimensionierung auf excentrischen Druck beanspruchte prismatische Eisenstäbe in eine neue Bahn geleitet ist.

Taf. VII enthält die Zeichnungen des Versuchsmaterials, soweit sich dies auf die Formeisen und deren Herrichtung zu den excentrischen Druckproben bezieht. Die Ausführung der Versuche geschah in jeder Hinsicht ähnlich denjenigen der centrischen Druckproben und haben wir den Mitteilungen auf Seite 93 nichts beizufügen. Sämtliche Versuche wurden also horizontal, zwischen Spitzenkörner, so vollkommen beweglich als möglich, in die *Werder*-Maschine eingelegt, wo nötig ausbalanciert, um das Moment vom Selbstgewichte der Stäbe angenähert aufzuheben. Die Versuchstäbe wurden nun allmälig wachsenden, bis zur Grenze des Tragvermögens gesteigerten Druckkräften ausgesetzt. Spannungsmessungen waren damals nicht beabsichtigt und auch die Messung der Durchbiegungen der Stäbe musste in Ermanglung brauchbarer Hülfsmittel aufgegeben werden.

Nachstehende Zusammenstellungen enthalten die gewonnenen Resultate. Zu ihrer Berechnung diente die theoretische *Excentricitätsformel* sowie die *Navier*'sche *Spannungsgleichung*,

nachdem deren Richtigkeit für Inanspruchnahmen innerhalb der Elasticitätsgrenze inzwischen auch experimentell untersucht und für Materialien, die dem Proportionalitäts-Gesetze folgen, ausser Zweifel gestellt war. Zur Herstellung der Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch für die Kohäsions-Grenze wurde der Vermittlungskoeffizient μ eingestellt, von welchem auf Seite 26 die Sprache ist.

β. Resultate der ex-

Lauf. No.	Durchmesser d, cm	Querschnittsfläche des Stabes F, cm^2	Wirksame Stablänge l, cm	Trägheitshalbmesser i, cm	Kernweite w, cm	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität in cm n_0	Gesamt-Excentricität in cm n
1. Serie: Rundeisen von Schweiss-									
	$\varepsilon = 2000$ t/cm^2; $\sigma = 2{,}04$ t/cm^2; $\beta_z = 3{,}68$ t/cm^2;								
1	4,61	16,7	52,3	1,15	0,574	45,5	2070	4,0	4,20
2	4,61	16,7	52,3	1,15	0,574	45,5	2070	4,0	4,20
Mittel	4,61	16,7	52,3	1,15	0,574	45,5	2070	4,0	4,20
3	4,59	16,5	75,3	1,15	0,574	65,5	4290	4,0	4,42
4	4,59	16,5	75,3	1,15	0,574	65,5	4290	4,0	4,42
Mittel	4,59	16,5	75,3	1,15	0,574	65,5	4290	4,0	4,42
5	4,68	17,2	118,7	1,17	0,585	101,5	10302	4,0	4,92
6	4,68	17,2	118,7	1,17	0,585	101,5	10302	4,0	4,92
Mittel	4,68	17,2	118,7	1,17	0,585	101,5	10302	4,0	4,92
7	4,68	17,2	168,5	1,17	0,585	144,1	20765	4,0	6,08
8	4,68	17,2	168,5	1,17	0,585	144,1	20765	4,0	6,08
Mittel	4,68	17,2	168,5	1,17	0,585	144,1	20765	4,0	6,08
9	4,68	17,2	213,0	1,17	0,585	182,0	33124	4,0	6,91
10	4,68	17,2	213,0	1,17	0,585	182,0	33124	4,0	6,91
Mittel	4,68	17,2	213,0	1,17	0,585	182,0	33124	4,0	6,91

centrischen Druckproben.

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft t, absol. B	Beobachtete Bruchkraft t/cm^2 σ_s	Berechnete Kantenspannung t/cm^2 σ_1	Berechnete Kantenspannung t/cm^2 σ_2	Berechnete Knickspannung t/cm^2 β_k	Bemerkungen
Gerlafingen (1888—1889).						
-eisen.						
$\varphi = 49{,}8\ \%$; $\lambda_2 = 23{,}7\ \%$; $c = 0{,}87$; sehnig normal.						
7,32	5,84	0,350	3,120	— 2,370	2,438	*Benützte Formeln.*
7,32	6,68	0,400	3,120	— 2,370	2,438	Zur Berechnung der Gesamtexcentricität:
7,32	6,26	0,375	3,120	— 2,370	2,438	$n = \frac{n_0}{1 - 0{,}50\left[\frac{\sigma_s}{\varepsilon}\left(\frac{l}{i}\right)^2\right]}$
7,70	6,24	0,378	3,089	— 2,379	2,178	worin $l_0 = 0{,}5\ l$ bedeutet.
7,70	5,48	0,332	3,089	— 2,379	2,178	Zur Berechnung der Knickspannungen:
7,70	5,86	0,355	3,089	— 2,379	2,178	$\beta_k = 3{,}03 - 0{,}013\left(\frac{l}{i}\right)$,
8,41	5,30	0,308	2,861	— 2,253	1,710	beziehungsweise:
8,41	5,16	0,300	2,861	— 2,253	1,710	$\beta_k = 19740\left(\frac{i}{l}\right)^2$
8,41	5,23	0,304	2,861	— 2,253	1,710	— —
10,39	4,83	0,281	3,189	— 2,629	1,370	σ_s bedeutet die Schwerpunkts-Spannung.
10,39	4,80	0,279	3,189	— 2,629	1,370	
10,39	4,82	0,280	3,189	— 2,629	1,370	
11,81	3,84	0,223	2,857	— 2,411	1,085	
11,81	3,84	0,223	2,857	— 2,411	1,085	
11,81	3,84	0,223	2,857	— 2,411	1,085	
	Durchschnitt:		*3,039*	*— 2,408*	—	

Lauf. No.	Durchmesser d, cm	Querschnittsfläche des Stabes F, cm^2	Wirksame Stablänge l, cm	Trägheitshalbmesser i, cm	Kernweite w, cm	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität in cm n_0	Gesamt-Excentricität in cm n
2. Serie: Rundeisen von Schweisseisen;									
11	4,61	16,7	52,0	1,15	0,574	45,2	2043	8,0	8,23
12	4,61	16,7	52,0	1,15	0,574	45,2	2043	8,0	8,23
Mittel	4,61	16,7	52,0	1,15	0,574	45,2	2043	8,0	8,23
13	4,60	16,6	75,0	1,15	0,574	65,2	4251	8,0	8,44
14	4,60	16,6	75,0	1,15	0,574	65,2	4251	8,0	8,44
Mittel	4,60	16,6	75,0	1,15	0,574	65,2	4251	8,0	8,44
15	4,66	17,0	118,5	1,17	0,585	101,3	10262	8,0	9,03
16	4,66	17,0	118,5	1,17	0,585	101,3	10262	8,0	9,03
Mittel	4,66	17,0	118,5	1,17	0,585	101,3	10262	8,0	9,03
17	4,68	17,2	168,4	1,17	0,585	143,9	20707	8,0	10,00
18	4,68	17,2	168,4	1,17	0,585	143,9	20707	8,0	10,00
Mittel	4,68	17,2	168,4	1,17	0,585	143,9	20707	8,0	10,00
19	4,68	17,2	213,9	1,17	0,585	182,8	33416	8,0	11,68
20	4,68	17,2	213,9	1,17	0,585	182,8	33416	8,0	11,68
Mittel	4,68	17,2	213,9	1,17	0,585	182,8	33416	8,0	11,68

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft t, absol. B	Beobachtete Bruchkraft t/cm^2 σ_s	Berechnete Kantenspannung t/cm^2 σ_1	Berechnete Kantenspannung t/cm^2 σ_2	Berechnete Knickspannung t/cm^2 β_k	Bemerkungen
Gerlafingen (1888—1889).						
Qualitäts-Zahlen vrgl. die 1. Serie.						
14,34	3,51	0,210	3,221	— 2,801	2,442	σ_s bedeutet die Schwerpunktsspannung.
14,34	3,51	0,210	3,221	— 2,801	2,442	
14,34	3,51	0,210	3,221	— 2,801	2,442	
14,70	3,25	0,196	3,077	— 2,685	2,182	
14,70	3,25	0,196	3,077	— 2,685	2,182	
14,70	3,25	0,196	3,077	— 2,685	2,182	
15,44	3,23	0,190	3,074	— 2,700	1,713	
15,44	3,13	0,184	3,074	— 2,700	1,713	
15,44	3,18	0,187	3,074	— 2,700	1,713	
17,09	2,72	0,158	2,858	— 2,542	1,371	
17,09	2,71	0,157	2,858	— 2,542	1,371	
17,09	2,72	0,158	2,858	— 2,542	1,371	
19,97	2,67	0,155	3,146	— 2,846	1,080	
19,97	2,49	0,145	3,146	— 2,846	1,080	
19,97	2,58	0,150	3,146	— 2,846	1,080	
	Durchschnitt:		*3,075*	*— 2,715*	—	

Lauf. No.	Querschnittsfläche des Stabes F, cm^2	Wirksame Stablänge l, cm	Trägheitshalbmesser i, cm	Kernweite w, cm	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität in cm n_0	Gesamt-Excentricität in cm n
3. Serie: Material-Lieferant: T-Eisen; deutsches Normal-Schweiss-								
$\varepsilon = 2000\ t/cm^2$; $\sigma = 2{,}43\ t/cm^2$; $\beta_z = 3{,}63\ t/cm^2$;								
21—22*)	19,9	358	1,80	$w_1 = 2{,}07$ $w_2 = 0{,}59$	199	39601	0,53	6,80
23—24*)	19,9	358	»	»	199	39601	2,57	7,80
25—26*)	19,9	362	»	»	201	40401	3,67	8,89
27	19,9	579	»	»	322	103684	2,57	12,66
28	19,9	579	»	»	322	103684	0,00	—
Einspannung zwischen festen Druckplatten: Appretur des								
29—30*)	19,9	$l_0 = 540$**)	1,80	$w_1 = 2{,}07$ $w_2 = 0{,}59$	243***)	—	2,16	9,27

*) Mittel aus 2 Versuchen.

**) $l_0 = 540\ cm$ entspricht der Formeisenlänge.

***) $l = 0{,}9\ l_0 = 486$; $\frac{l}{i} = 486 : 1{,}8 = 243$

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen
			Kantenspannung		Knick-spannung	
	t, absol. B	t/cm^2 σ_s	t/cm^2 σ_1	σ_2	t/cm^2 β_k	
Eisenwerk Kaiserslautern.						
Profil No. 14:7:1 (nominell)						
-eisen.						
$\varphi = 20{,}6$ %; $\lambda_2 = 18{,}5$ %; $c = 0{,}67$ cm t.						
3,29 / 11,52	8,20	0,412	1,767	4,334	0,498	σ_s bedeutet die Schwerpunkts-Spannung.
3,78 / 13,22	6,16	0,310	1,482	3,789	0,498	
4,30 / 15,07	5,19	0,261	1,383	3,672	0,449	
6,14 / 21,46	2,90	0,146	1,042	2,987	0,190	
—	3,90	0,196	—	—	0,190	
Summa aus 2, 3 u. 4			3,907	10,448	—	
Mittel			1,302	3,483		
Versuchskörpers: vid. Abb. 2, Serie III der Zeichnung.						
4,48 / 15,71	4,86½	0,245	1,343	3,604	—	

Lauf. No.	Querschnittsfläche des Stabes F, cm^2	Wirksame Stablänge l, cm	Trägheitshalbmesser i, cm	Kernweite w, cm	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität in cm e_0	Gesamt-Excentricität e
				4. Serie. Material-Lieferant: T-Profil aus 2 Winkeleisen, deutsches Schweisseisen; *Qualitäts-*				
31—32*)	21,3	358	2,11	$w_1 = 2{,}22$ $w_2 = 0{,}89$	170	28900	1,24	4,80
33—34*)	21,3	358	»	»	170	28900	3,10	7,75
35—36*)	21,3	362	»	»	172	29584	5,25	10,40
37	21,3	579	»	»	274	75076	3,10	16,94
38	21,3	579	»	»	274	75076	0,00	–
				Einspannung zwischen festen Druckplatten; Appretur der				
39—40*)	21,3	$l_0 = 540$**) $l = 0{,}85\, l_0$	2,11	w_1 2,22 w_2 0,89	218	—	2,60	10,79

*) Mittel aus 2 Versuchen.

**) $l_0 = 540$ entspricht der Länge des Formeisens. l ist die wirksame Stablänge.

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft t, absol. B	Beobachtete Bruchkraft t/cm^2 o_s	Berechnete Kantenspannung t/cm^2 σ_1	Berechnete Kantenspannung t/cm^2 σ_2	Berechnete Knickspannung t/cm^2 β_k	Bemerkungen
Eisenwerk Kaiserslautern.						
Normal-Profil No. 7a (nominell).						
zahlen; vrgl. die 3. Serie.						
2,16 / 5,39	10,20	0,479	1,514	2,103	0,683	o_s bedeutet die Schwerpunkts-Spannung.
3,49 / 8,71	7,97	0,374	1,679	2,884	0,683	
4,73 / 11,68	6,27	0,294	1,685	3,140	0,667	
7,63 / 19,03	4,40	0,207	1,786	3,732	0,263	
—	5,90	0,277	—	—	0,263	
Summa aus 2, 3 u. 4			5,150	9,756	—	
Mittel			1,717	3,252	—	
Probekörper, vid. Fig. 1, Serie III der Zeichnung.						
4,86 / 12,12	6,90	0,324	1,899	3,603	—	

Lauf. No.	Querschnittsfläche des Stabes F, cm^2	Wirksame Stablänge l, cm	Trägheitshalbmesser i, cm	Kernweite w, cm	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität in cm n_0	Gesamt n
				5. Serie: Material-Lieferant: [-Eisen, deutsches Normal-Schweisseisen; *Qualitäts-*				
41—42*)	17,0	358	1,59	$\begin{cases} w_1 = 1{,}59 \\ w_2 = 0{,}65 \end{cases}$	226	51076	0,74	6,22
43—44*)	17,0	358	»	»	226	51076	2,60	9,12
45—46*)	17,0	362	»	»	228	51984	4,76	12,21
47	17,0	579	»	»	364	132496	2,56	18,55
48	17,0	579	»	»	364	132496	0,00	—
				Einspannung zwischen festen Druckplatten; Appretur				
49—50*)	17,0	$l_0 = 540$**)	1,59	$\begin{cases} w_1 = 1{,}59 \\ w_2 = 0{,}65 \end{cases}$	115†)	—	2,19	9,91

*) Mittel aus 2 Versuchen.

**) l_0 entspricht der Formeisen-Länge. Die wirksame Stablänge liegt bei $l_0 = 0{,}675\ l_0$, besser bei $0{,}670\ l_0$.

†) für $l = 0{,}675\ l_0$.

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen
			Kantenspannung		Knick-spannung	
	t, absol. B	t/cm^2 σ_s	t/cm^2 σ_1	σ_2	t/cm^2 β_k	
Eisenwerk Kaiserslautern.						
Profil No. 12 (12 : 5,5 : 0,7 *cm*).						
zahlen; vrgl. die 3. Serie.						
3,91 / 9,57	5,70	0,335	1,645	—2,870	0,386	σ_s bedeutet die Schwerpunkts-Spannung.
5,73 / 14,03	4,40	0,259	1,743	—3,375	0,386	
7,68 / 18,79	3,58	0,211	1,831	—3,754	0,380	
11,67 / 28,54	2,15	0,126	1,596	—3,470	0,149	
		Summa	6,815	-13,469	—	
		Mittel	1,704	— 3,362	—	
—	2,60	0,153	—	—	0,149	
des Versuchskörpers, vrgl. Fig. 3, Serie III der Zeichnung.						
6,23 / 15,22	4,70	0,277	2,003	3,939	—	

Lauf. No.	Querschnittsfläche des Stabes F, cm^2	Wirksame Stablänge l, cm	Trägheitshalbmesser i, cm	Kernweite w, cm	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität in cm n_0	Gesamt-Excentricität in cm n
6. Serie. Material-Lieferant: T-Profil aus 2 Winkeleisen, deutsches Schweiss- $\varepsilon = 2000\ t/cm^2$; $\sigma = 2{,}34\ t/cm^2$; $\beta_z = 3{,}45\ t/cm^2$;								
51—52*)	31,8	120	2,75	$\begin{cases} w_1 = 2{,}98 \\ w_2 = 1{,}17 \end{cases}$	43,6	1901	3,65	4,22
53—54*)	31,8	220	»	»	80,0	6400	3,65	5,48
55—56	31,8	320	»	»	116	13456	3,65	7,17
57—58	31,8	420	»	»	153	23409	3,65	9,24
59—60	31,8	520	»	»	189	35721	3,65	11,27

*) Mittelwerte aus 2 Versuchen.

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen
			Kantenspannung		Knickspannung	
	t, absol.	t/cm^2	t/cm^2		t/cm^2	
	B	σ_s	σ_1	σ_2	β_k	
de Wendel & Co., Hayange.						
Normal-Profil No. 9.						
-eisen.						
$\varphi = 12{,}6\ \%$; $\lambda_2 = 10{,}7\ \%$; $c = 0{,}42\ cm$						
1,42 / 3,61	37,12	1,167	2,824	3,046	2,464	σ_s bedeutet die Schwerpunkts-Spannung.
1,84 / 4,68	28,37	0,892	2,533	3,283	1,990	
2,41 / 6,13	20,37	0,641	2,186	3,288	1,467	
3,10 / 7,89	14,82	0,466	1,911	3,211	0,843	
3,78 / 9,63	11,02	0,347	1,659	2,995	0,553	
	Summa		11,113	15,823	—	
	Mittel		2,223	3,165	—	

Lauf. No.	Querschnittsfläche des Stabes F, cm^2	Wirksame Stablänge l, cm	Trägheitshalbmesser i, cm	Kernweite w, cm	$\frac{l}{i}$	$\left(\frac{l}{i}\right)^2$	Anfangs-Excentricität in cm n_0	Gesamt-Excentricität in cm n
7. Serie: Material-Lieferant: T-Profil aus 2 Winkeleisen, Fluss- $\varepsilon = 2140\ t/cm^2$**); $\sigma = 2{,}76\ t/cm^2$; $\beta_z = 4{,}21\ t/cm^2$;**								
61—62**)	30,0	120	2,76	$w_1 = 2{,}98$ $w_2 = 1{,}18$	43,5	1892	3,56	4,15
63—64	30,0	220	»	»	79,7	6352	3,52	5,50
65—66	30,0	320	»	»	116	13456	3,56	7,12
67—68	30,0	420	»	»	152	23104	3,50	8,86
69—70	30,0	520	»	»	188	35344	3,52	10,70

**) Mittelwerte aus 2 Versuchen.

$\frac{n}{w}$	Beobachtete Bruchkraft		Berechnete			Bemerkungen
			Kantenspannung		Knick-spannung	
	t, absol.	t/cm^2	t/cm^2		t/cm^2	
	B	σ_s	σ_1	σ_2	β_k	
de Wendel & Co., Hayange.						
deutsches Normal-Profil Nr. 9a.						
-eisen.						
$\varphi = 62{,}9\ \%$; $\lambda_2 = 27{,}9\ \%$; $c = 1{,}16\ cm\ t$.						
1,39	39,75	1,325	3,167	3,339	2,604	*) In der Knickformel entsprechend auf 2150 t/cm^2 aufgerundet.
3,52						
1,85	31,37	1,046	2,981	3,828	2,191	
4,66						
2,39	20,79	0,693	2,349	3,493	1,576	
6,04						
2,97	15,24	0,508	2,017	3,307	0,918	
7,51						
3,59	11,25	0,375	1,721	3,030	0,600	
9,08						
	Summa		12,235	16,997	—	
	Mittel		2,447	3,400	—	

Schlussfolgerungen.

Aus vorstehenden Versuchsreihen geht hervor, dass

1. excentrischen Druckkräften ausgesetzte, prismatische Druckstäbe beim Eintritt der Bruchdehnung bezw. der Bruchstauchung der meist gespannten Fasern ihr Tragvermögen verlieren; dass

2. die Anwendung der auf dem Proportionalitäts-Gesetze fussenden Formel der Mechanik an der Grenze des Tragvermögens der Stäbe, Spannungswerte der äussersten Fasern liefert, die sich sowohl mit dem Materiale, als auch mit der Querschnittsform der Stäbe ändern.

3. Rund-Schweisseisen mit Längenverhältnissen $l:i = 45$ bis 182 ergaben für das Verhältnis (μ) der Zugfestigkeit des Materials (β_z) zur grössten, rechnungsmässigen Kantenspannung (σ_m) folgende Werte:

$l:i$	n	σ_{max}	$\mu = \beta_z : \sigma_{max}$
45,5	4,0 *cm*	3,12 *t/cm²*	1,18
65,5	»	3,09 »	1,19
101,5	»	2,86 »	1,29
144,1	»	3,19 »	1,16
182,0	»	2,86 »	1,29
45,2	8,0 *cm*	3,22 *t/cm²*	1,14
65,2	»	3,08 »	1,19
101,3	»	3,07 »	1,20
143,9	»	2,86 »	1,28
182,8	»	3,15 »	1,17
		Zusammen:	12,09
		Im Mittel:	1,21

Für Rund-Schweisseisen ist also μ weder vom massgebenden Längenverhältnisse noch von der Grösse der Anfangs-Excentricität (n) abhängig. Ob für andere concentrierte Querschnittsformen die Verhältnisse ähnlich liegen, bleibt festzustellen weiteren Versuchen vorbehalten. Bis auf weiteres darf angenommen werden, dass für ungeteilte Druckstäbe mit concentrierter Querschnittsform in Schweisseisen der Vermittlungskoeffizient rund

$$\mu = 1{,}20$$

beträgt.

4. Druckstäbe in Schweisseisen mit gespreizten Querschnittsformen, gleichviel ob dieselben einteilig oder durch Nietung zu-

sammengesetzt waren, ergaben Werte des Vermittlungskoeffizienten μ, die selbst für ein und dasselbe Profil nicht unerhebliche Schwankungen aufwiesen. Die Differenzen der Zahlenwerte des Vermittlungskoeffizienten scheinen zufälliger Natur zu sein, denn sie weisen weder in Hinsicht auf das massgebende Längenverhältnis noch auf die Grösse der Anfangsexcentricität eine Gesetzmässigkeit auf. Die Mittelwerte der einzelnen Versuchsreihen liegen in relativ engen Grenzen, so dass man berechtigt ist, die Durchschnittswerte der Gruppenmittel bis auf weiteres als den massgebenden Wert des Vermittlungskoeffizienten für gespreizte Querschnittsformen anzusehen (im Gegensatz zu den concentrierten); vrgl. die folgenden Zusammenstellungen:

$l:i$	n	σ_{max}	$\mu = \beta_z : \sigma_{max}$
T-*Eisen; deutsches Normalprofil Nr. 14/7.*			
199,0	0,53 *cm*	4,33 *t/cm²*	0,84
199,0	2,57 »	3,79 »	0,96
201,0	3,67 »	3,67 »	0,99
322,0	2,57 »	2,99 »	1,22
		Zusammen:	4,01
		Im Mittel:	1,00
T-*Profil aus 2 Winkeleisen; deutsches Normalprofil Nr. 7a.*			
170,0	1,24 *cm*	2,10 *t/cm²*	(?)
170,0	3,10 »	2,88 »	1,26
172,0	5,25 »	3,14 »	1,16
274,0	3,10 »	3,73 »	0,98
		Zusammen:	3,40
		Im Mittel:	1,13
T-*Profil aus 2 Winkeleisen; deutsches Normalprofil Nr. 9a.*			
43,6	3,65 *cm*	3,05 *t/cm²*	1,13
80,0	3,65 »	3,28 »	1,05
116,0	3,65 »	3,29 »	1,05
153,0	3,65 »	3,21 »	1,07
189,0	3,65 »	3,00 »	1,15
		Zusammen:	5,45
		Im Mittel:	1,09

⊏-*Eisen; deutsches Normal-Profil Nr. 12.*

226	0,74 *cm*	2,87 *t/cm²*	1,26
226	2,60 »	3,38 »	1,08
228	4,76 »	3,75 »	0,97
364	2,56 »	3,47 »	1,05
		Zusammen:	4,36
		Im Mittel:	1,09

Der Durchschnittswert der Gruppenmittel beträgt: 1,08; mithin wird man *für Formeisen und aus diesen hervorgegangenen, gespreizten Querschnitts-Formen den Vermittlungs-Koeffizienten der zusammengesetzten Druckfestigkeit für Schweisseisen bis auf Weiteres zu:*

$$\mu_z = \frac{\beta_z}{\sigma_{max}} = 1{,}08$$

annehmen und in Rechnung stellen dürfen.

5. Bei Druckstäben mit nahezu kongruenten Querschnitten sind die Kantenspannungen an der Grenze des Tragvermögens beim Flusseisen grösser als beim Schweisseisen.

	$l:i$	n	σ_{max}	Verhältnis der σ_{max}
T-*Profil aus 2 Winkeleisen; deutsches Normalprofil Nr. 9a.*				
Schweisseisen	43,6	3,65 *cm*	3,05 *t/cm²*	
Flusseisen	43,5	3,56 »	3,34 »	1,09
Schweisseisen	80,0	3,65 *cm*	3,28 *t/cm²*	
Flusseisen	79,7	3,52 »	3,83 »	1,17
Schweisseisen	116,0	3,65 *cm*	3,29 *t/cm²*	
Flusseisen	116,0	3,56 »	3,49 »	1,06
Schweisseisen	153,0	3,65 *cm*	3,21 *t/cm²*	
Flusseisen	152,0	3,50 »	3,31 »	1,03
Schweisseisen	189,0	3,65 *cm*	3,00 *t/cm²*	
Flusseisen	188,0	3,52 »	3,03 »	1,01
			Zusammen:	5,36
			Im Mittel:	1,07

Unter angenähert gleichen Verhältnissen sind somit die rechnungsmässigen Kantenspannungen an der Grenze flusseiserner Druckstäbe ca. 1,07 mal grösser, als die der schweisseisernen.

Da nun das Verhältnis der Zugfestigkeiten (β_z) der in diesen Versuchsreihen verwendeten Winkeleisen

$$\frac{\text{Flusseisen}}{\text{Schweisseisen}} = \frac{4{,}21}{3{,}45} = 1{,}22$$

beträgt, wird der *Vermittlungskoeffizient für Druckstäbe in Flusseisen:*

$$\mu_f = \frac{1{,}22}{1{,}07}\,\mu_s = 1{,}14\,\mu_s$$

betragen, wenn μ_s den Vermittlungskoeffizient für das Schweisseisen bedeutet.

Unter Berücksichtigung der Werte von μ erhält man schliesslich die in folgender Tabelle zusammengestellten *Vermittlungskoeffizienten*; *Schweisseisen:* *Flusseisen:*

bei concentrierten Querschnittsformen: $\mu_s = 1{,}20$; $\mu_f = 1{,}37$;
» gespreizten » » : » $= 1{,}08$; » $= 1{,}23$.

6. Anwendungen.

Vorstehende *Vermittlungskoeffizienten* gestatten die Dimensionierung eines, auf zusammengesetzter Druckfestigkeit beanspruchten, prismatischen Stabes unter zu Grundelegung einer gewählten, m-fachen Sicherheit gegen Bruch, bezw. gegen das Erreichen der Grenze des Tragvermögens seines Materials durchzuführen. Der Rechnungsweg kann folgender sein:

Gegeben sind: die wirksame *Stablänge l; Grösse der Anfangsexcentricität* n_0*; Grösse der Arbeitsbelastung P in t,* sowie die *Elasticitäts-* (ε) und *Festigkeitsverhältnisse* (β) des Materials.

Die *Bruchbelastung* des Stabes wäre: $N = m\,P$; für diese wird die grösste *Kantenspannung* $\sigma_{max} = \frac{1}{\mu}\,\beta_z$ betragen. Mithin hat man:

$$\sigma_{max} = \frac{1}{\mu}\,\beta_z = -\,\sigma_s\left[1 + \frac{c}{a}\right], \text{ wo:}$$

$$a = \frac{i^2}{n'} \text{ u. } n' = \frac{n_0}{1 - 0{,}50\left(\frac{l}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} + 0{,}0417\left[\left(\frac{l}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon}\right]^2 -}$$

bedeutet.

Man wählt σ_s, berechnet aus:

$$F = \frac{N}{\sigma_s} = \frac{m\,P}{\sigma_s}$$

die Grösse des erforderlichen Stabquerschnitts, wählt seine Form, bestimmt deren Querschnittsgrössen und ermittelt an Hand dieser die grösste Kantenspannung $\sigma'_{max.}$ Die Ermittlung der Querschnitts-Abmessungen darf als befriedigend angesehen werden, soferne angenähert

$$\sigma'_{max} = \sigma_{max}$$

wird; im andern Falle wäre σ_s d. h. die gewählten Abmessungen zu ändern. Ist ein *Stab* in der vorstehend angeführten Weise mit m-facher Sicherheit gegen Bruch dimensioniert, so hat in gesonderter Rechnung die Ermittlung der Grösstwerte der Kantenspannungen σ_{I} , σ_{II} für die einfache Arbeitsbelastung P des Stabes zu erfolgen. Hiezu dienen nach wie vor die Formeln:

$$\sigma_s = \frac{P}{F}\,; \quad a = \frac{i^2}{n}\,; \quad \sigma_{\text{I}} = -\sigma_s\left[1 + \frac{c_{\text{I}}}{a}\right]; \quad \sigma_{\text{II}} = -\sigma_s\left[1 - \frac{c_{\text{II}}}{a}\right]$$

u. s. w.

Am Schlusse vorliegender Arbeit sei noch gestattet, an einigen Beispielen den Wert der neuen Methode der Querschnittsermittlung gedruckter Stäbe zu illustrieren.

Annahmen.

Stützenlänge: $l = 890$ *cm*; *Stützenlagerung:* beweglich (zwischen Spitzen).

Arbeitsbelastung: $P = 36{,}0$ *t*;

Sicherheitsgrad: $m = 4$.

Material: Schweisseisen mit einer Zug- bezw. Druckfestigkeit von $\beta = 3{,}6$ *t/cm²*. *Elasticitätsmodul:* $\varepsilon = 2000$ *t/cm²*.

Querschnittsform der Stütze: Einfachheitswillen kreisförmiger Ring-Querschnitt.

1. Fall: *Centrischer Kraftangriff.*

Für das durch Probieren ermittelte Längenverhältnis $l:i=127$ erhält man nach *Tetmajer:*

die zulässige Materialinanspruchnahme $\sigma_k = 0{,}33\ t/cm^2$;
die erforderliche Querschnittsfläche beträgt somit

$$F = \frac{36{,}0}{0{,}33} = 109\ cm^2.$$

Wir wählen eine kreisförmige Ringfläche mit folgenden Abmessungen:

äusserer Durchmesser $d = 21{,}0\ cm$
innerer » $d_0 = 17{,}4$ »
Wandstärke » $s = 1{,}8$ » .

Für diese Abmessungen beträgt:

der Querschnittsinhalt $F = 108{,}6\ cm^2$,
der Trägheitshalbmesser $i = 6{,}82\ cm$,
das massgebende Längenverhältnis $l:i = 130{,}5\ cm$.

Die *Bruchkraft der Säule* mit diesem Querschnitte ist ausgedrückt durch:

$$N = \left[3{,}03 - 0{,}013\,\frac{l}{i}\right] F = 1{,}33 \cdot 108{,}6 = 144{,}4\ t;$$

ihr Sicherheitsgrad gegen Bruch somit

$$m = \frac{N}{P} = \frac{144{,}4}{36{,}0} = 4{,}1\ .$$

2. Fall: *Excentrischer Kraftangriff.*

Anfangs-Excentricität der Säule $n = 3{,}55\ cm$.

Altes Rechnungsverfahren.

Die grösste Kantenspannung der Säule soll bei $m = 4$-facher Sicherheit

$$\sigma_2 = \frac{\beta}{m} = \frac{3{,}6}{4} = 0{,}90\ t/cm^2 \text{ nicht überschreiten.}$$

Durch Probieren erhält man eine zulässige *Schwerpunkts-Spannung:*

$$\sigma_s = 0{,}358\ t/cm^2;$$

dieser entspricht ein Säulenquerschnitt:

$$F = \frac{P}{\sigma_s} = \frac{36{,}0}{0{,}358} = 100{,}6\ cm^2.$$

Bei 1,8 *cm* Wandstärke wird:

der äussere Durchmesser $d = 19{,}6$ *cm*
» innere » $d_0 = 16{,}0$ »
» Trägheitshalbmesser $i = 6{,}25$ »

das massgebende Längenverhältnis $l_0 : i = 445 : 6{,}25 = 71{,}20$, somit die Gesamtexcentricität:

$$n = \frac{n_0}{1 - 0{,}5\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon} + 0{,}0417\left[\left(\frac{l_0}{i}\right)^2 \frac{\sigma_s}{\varepsilon}\right]^2} = \frac{3{,}55}{1 - 0{,}456 + 0{,}035} = 6{,}13\ cm.$$

Der Pfeil der elastischen Verbiegung wäre somit:

$$\Delta n = n - n_0 = 6{,}13 - 3{,}55 = 2{,}58\ cm$$

und die grösste Kantenspannung:

$$\sigma_1 = \sigma_s\left[1 + \frac{c}{a}\right] = 0{,}358\left[1 + \frac{9{,}80}{6{,}37}\right] = 0{,}91\ t/cm^2,$$

da in vorstehender Spannungsformel

$$c = \frac{d}{2} = \frac{19{,}6}{2} = 9{,}8\ cm$$

und

$$a = \frac{i^2}{n} = \frac{39{,}06}{6{,}13} = 6{,}37 \quad \text{ist.}$$

Die grösste Kantenspannung $\sigma_1 = 0{,}91\ t/cm^2$ entspricht näherungsweise der zulässigen $\sigma_z = 0{,}90\ t/cm^2$; wir gelangen somit zu dem interessanten Resultat, dass unter sonst gleichen Umständen die *excentrisch* belastete Säule schwächere Querschnittsabmessungen zu erhalten hätte, als die *centrische.*

Neues Rechnungsverfahren.

Für die Bruchbelastung:

$$N = mP = 4 \cdot 36{,}0 = 144{,}0 \ t$$

und die unter Zuhülfenahme des Vermittlungskoeffizienten für gespreizte Querschnittsformen

$$\mu = 1{,}08$$

abgeleitete Bruchspannung der äussersten Fasern

$$\beta_b = \frac{1}{\mu}\ \beta_s = \frac{1}{1{,}08}\ 3{,}6 = 3{,}33 \ t/cm^2,$$

erhält man durch Probieren eine Schwerpunkts-Spannung:

$$\sigma_s = 1{,}10 \ t/cm^2;$$

sie liefert einen Querschnitts-Inhalt

$$F = \frac{144}{1{,}10} = 131{,}2 \ t/cm^2,$$

also einen kreisförmigen Querschnitt mit

einem äussern Durchmesser $d = 25{,}0\ cm$
» innern » $d_0 = 21{,}4$ » , also
einer Wandstärke . . . . $s = 1{,}8$ »
einem Trägheitshalbmesser $i = 8{,}23$ » .

Das massgebende Längenverhältnis der Säule wird:

$$l_0 : i = 445 : 8{,}23 = 54{,}07, \text{ somit}$$

die Gesamtexcentricität

$$n = \frac{3{,}55}{1 - 0{,}50\left(54{,}07\right)^2 + 0{,}0417\left[\left(54{,}07\right)^2\right]^2} = \frac{3{,}55}{0{,}304} = 11{,}67.$$

Nun ist: $c = \frac{d}{2} = 12{,}5\ cm,\ a = \frac{i^2}{n} = \frac{8{,}23^2}{11{,}67} = 5{,}80\ cm;$

für diesen Belastungszustand wird die grösste Kantenspannung:

$$\sigma = \sigma_s\left[1 + \frac{c}{a}\right] = 1{,}10\left[1 + \frac{12{,}5}{5{,}8}\right] = 3{,}46 \ t/cm^2;$$

die Übereinstimmung mit der angenäherten Bruchspannung von

$$\beta_b = 3{,}33\ t/cm^2.$$

ist somit hinlänglich; den Forderungen der Dimensionierung ist entsprochen.

Unter der Arbeitslast $P = 36{,}0\ t$ dieser mit $m = 4$-fachen Sicherheit berechneten Säule, wird die Schwerpunktsspannung

$$\sigma_s = \frac{36{,}0}{131{,}2} = 0{,}27\,,$$

somit die Gesamtdurchbiegung:

$$n = \frac{3{,}55}{1-0{,}50\left(\frac{445}{8{,}23}\right)^2 \frac{0{,}27}{2000} - 0{,}0417\left[\left(\frac{445}{8{,}23}\right)^2 \frac{0{,}27}{2000}\right]^2} = \frac{3{,}55}{0{,}809} = 4{,}38\ cm$$

betragen, d. h. die Säule wird eine elastische Verbiegung von blos

$$\Delta n = 4{,}38 - 3{,}55 = 0{,}83\ cm$$

erfahren. Da nun $a = \frac{i^2}{n} = \frac{67{,}73}{4{,}38} = 15{,}46\ cm$ ist, so wird die *grösste Kantenspannung*:

$$\sigma = \sigma_s\left(1 + \frac{c}{a}\right) = 0{,}27\left(1 + \frac{12{,}5}{15{,}46}\right) = 0{,}49\ t/cm^2$$

betragen.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort 3

I. Einleitung 7

II. Ursachen der Knickerscheinungen; Grundformeln 9

III. Formänderungen prismatischer Stäbe in der Druckprobe 19

IV. Zusammenstellung der Grundformeln 26

V. Resultate der experimentellen Untersuchungen . 29

1. **Ergebnisse der Kontrolle der Richtigkeit und der Gültigkeitsgrenzen der Excentricitäts- und der Navier'schen Spannungsformel** 30
2. **Resultate der Untersuchung der Spannungsverteilung in centrisch belasteten Druckstäben** 37
3. **Resultate der Untersuchung des Abhängigkeitsverhältnisses der Schwerpunktsspannung ($\sigma_s = \beta_k$) zum massgebenden Längenverhältnis prismatischer Druckstäbe** 82

a. Beschreibung des Versuchsmaterials 82

α. Bauholz 82

β. Gusseisen 83

γ. Schmiedbares Eisen 84

b. Einspannung der Probekörper und Art der Versuchsausführung 87

α. Bauholz 87

β. Gusseisen 91

γ. Schmiedbares Eisen 93

c. Resultate der Knickungsproben 95

I. Abteilung: *Bauholz* 95

II. » : *Gusseisen* 113

III. » : *Schweisseisen* 135

IV. » : *Flusseisen* 142

Seite

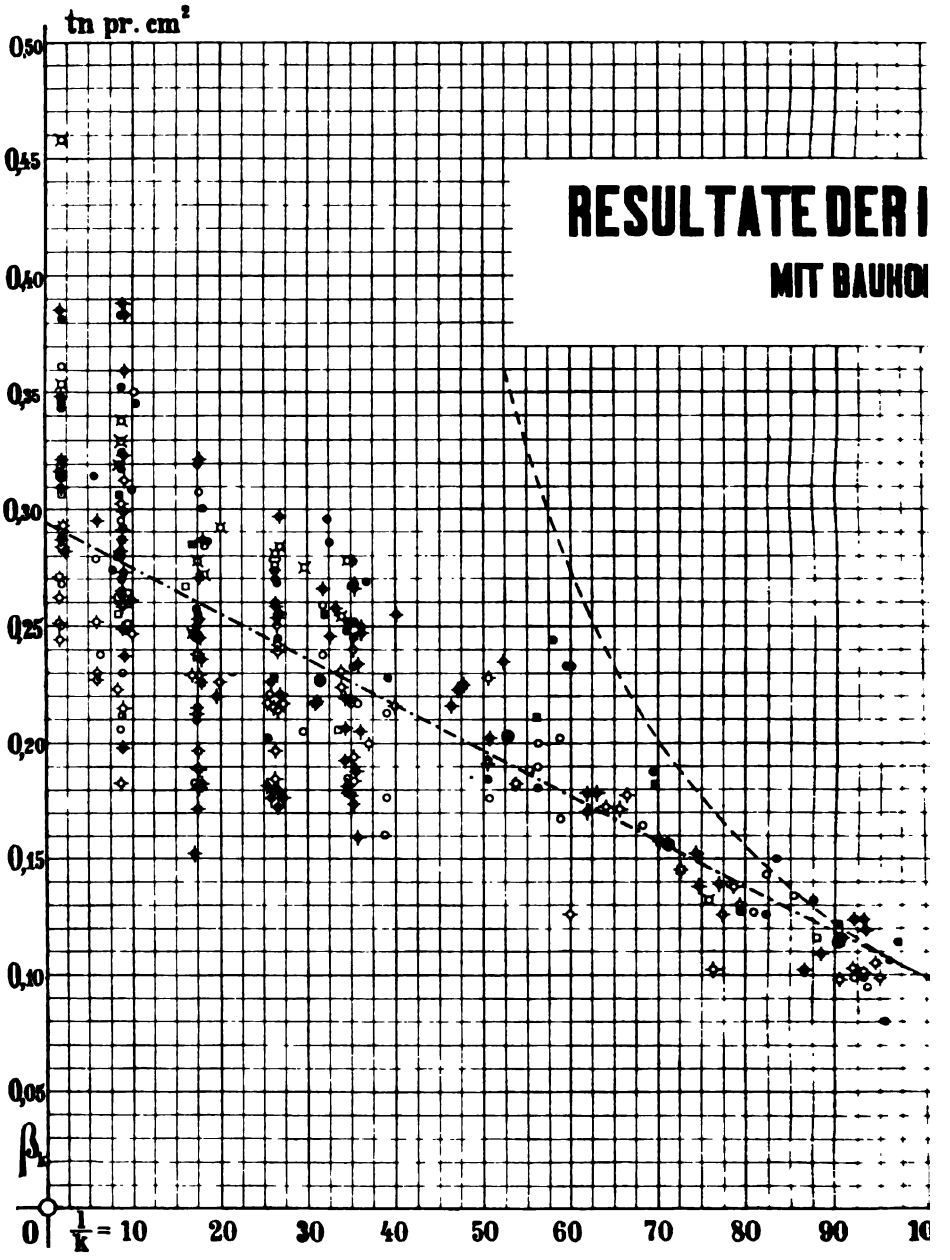
4. **Resultate der Untersuchung des Einflusses der Verbindungsart von Formeisen auf die Knickungsfestigkeit zusammengesetzter, schmiedeiserner Druckstäbe** 149
   a. Schweisseisen-Stäbe (aus dem Jahre 1892) . . 149
      α. *Allgemeines* 149
      β. *Resultate der Untersuchung der Festigkeitsverhältnisse des Versuchsmaterials* 152
      γ. *Resultate der Knickungsproben* . . 153
   b. Flusseisen-Stäbe (aus den Jahren 1899-1900) . . 156
      α. *Allgemeines* 156
      β. *Resultate der Untersuchung der Festigkeitsverhältnisse des Versuchsmaterials* 159
      γ. *Resultate der Druckproben* . . . 162
   Schlussfolgerungen 191
5. **Resultate der Untersuchung d. Verhaltens d. schmiedbaren Eisens in der excentrischen Druckprobe** . . 194
      α. *Allgemeines* 194
      β. *Resultate der excentrischen Druckproben* 196
   Schlussfolgerungen 210
6. **Anwendungen** 213

der Einspannun

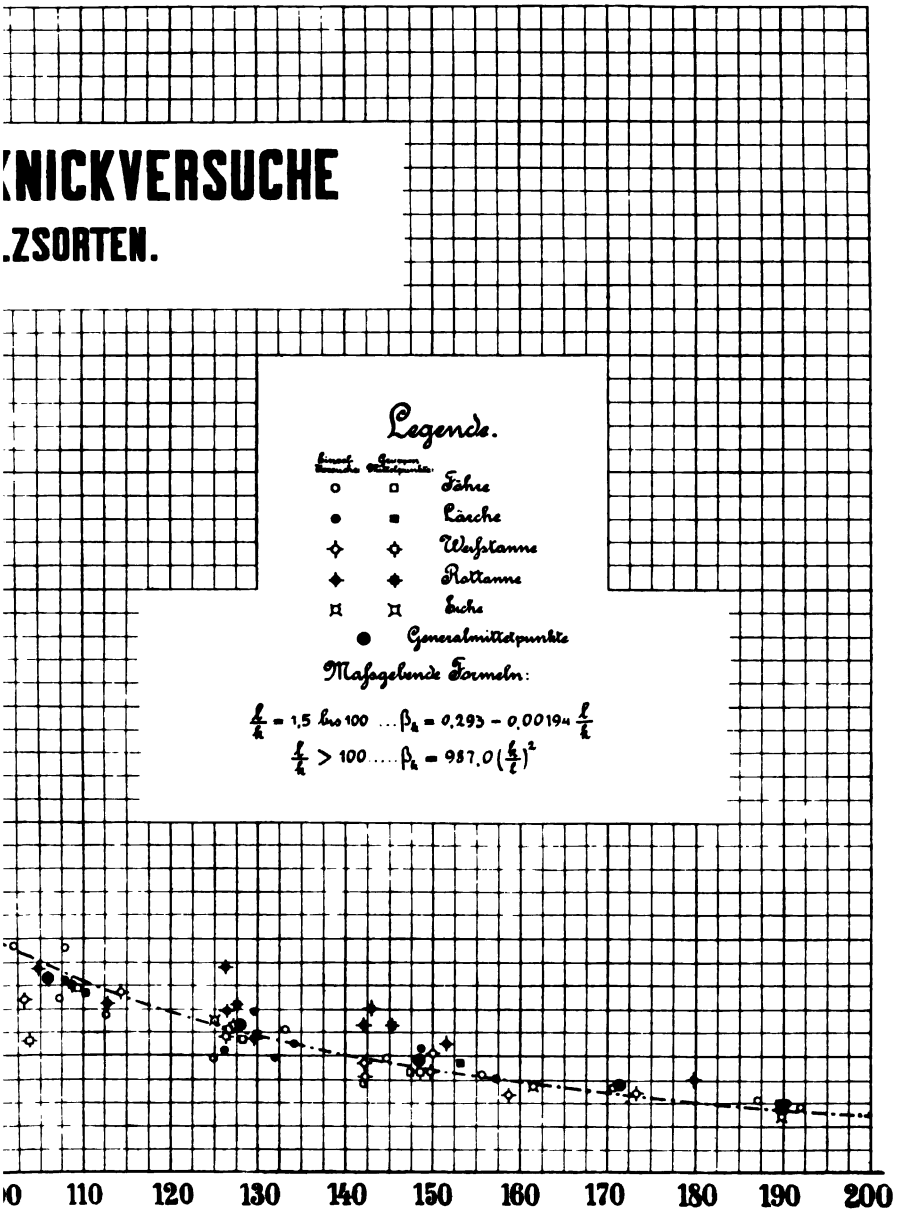
Darstellung

ɜart der Druckstäbe in der Werder-Maschine.

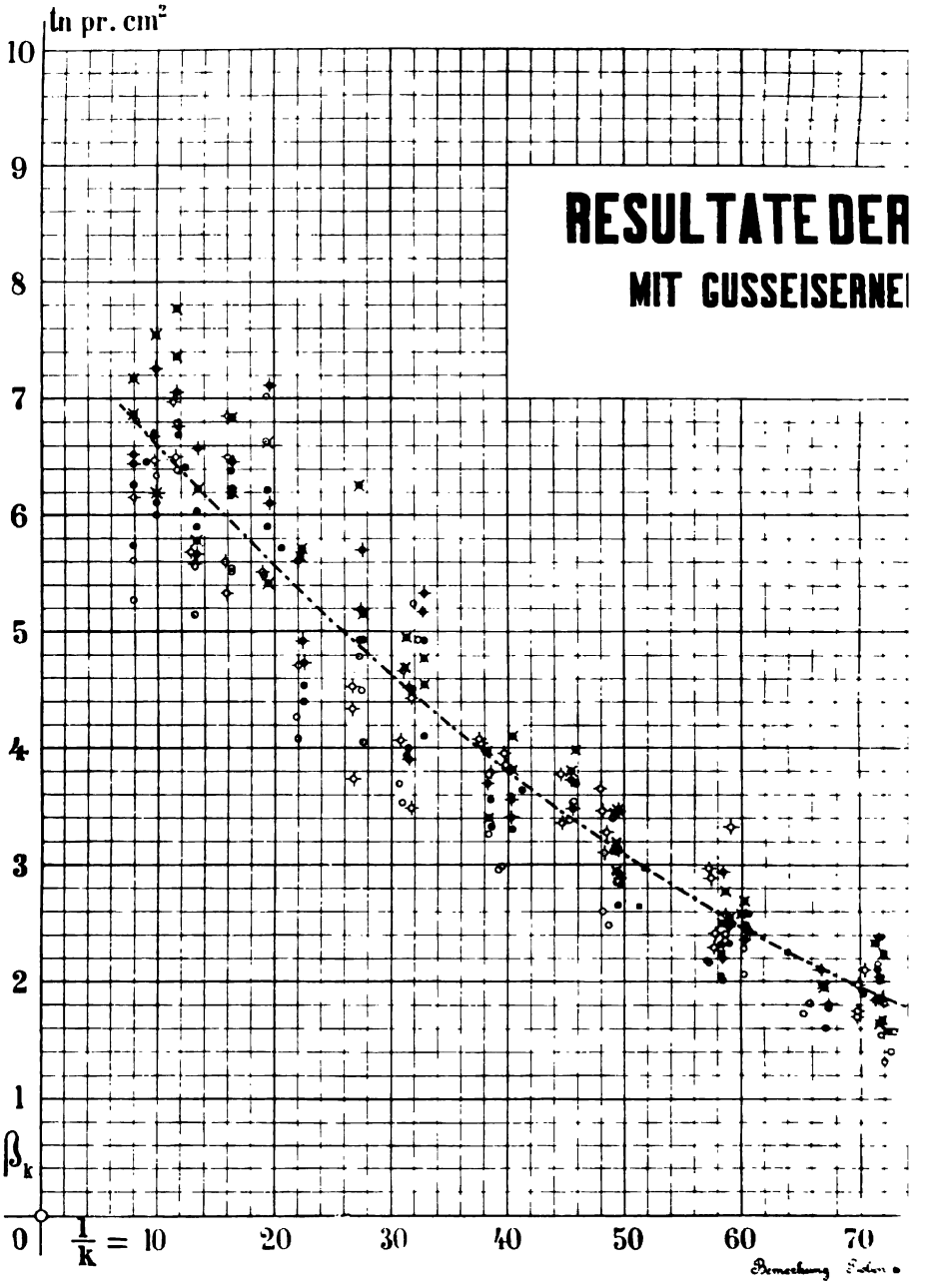
Taf. I.


tn pr. cm²
0,50
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
0,20
0,15
0,10
0,05
0
1/k = 10
20
30
40
50
60
70
80
90
RESULTATE DER I
MIT BAUKO

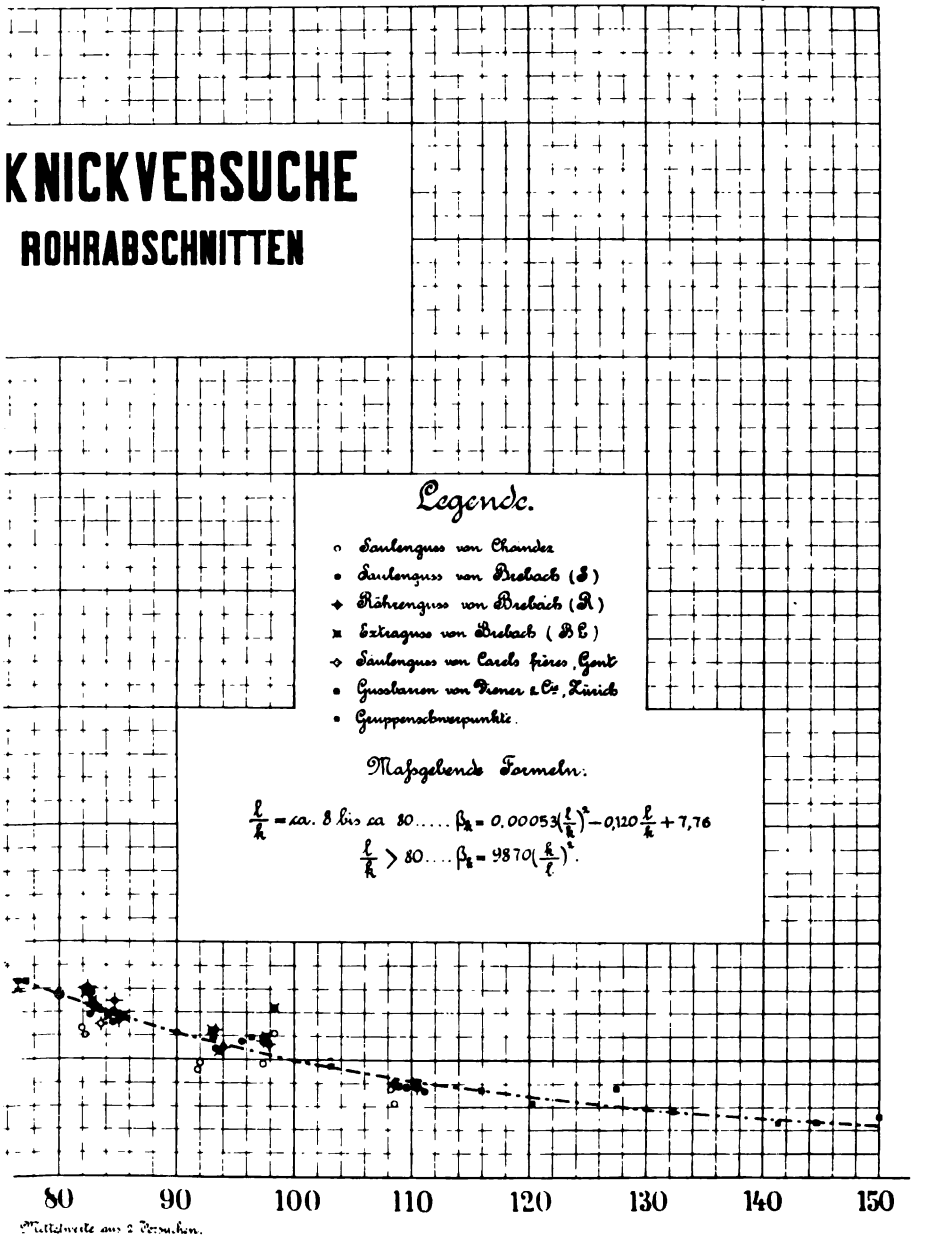
NICKVERSUCHE
.ZSORTEN.



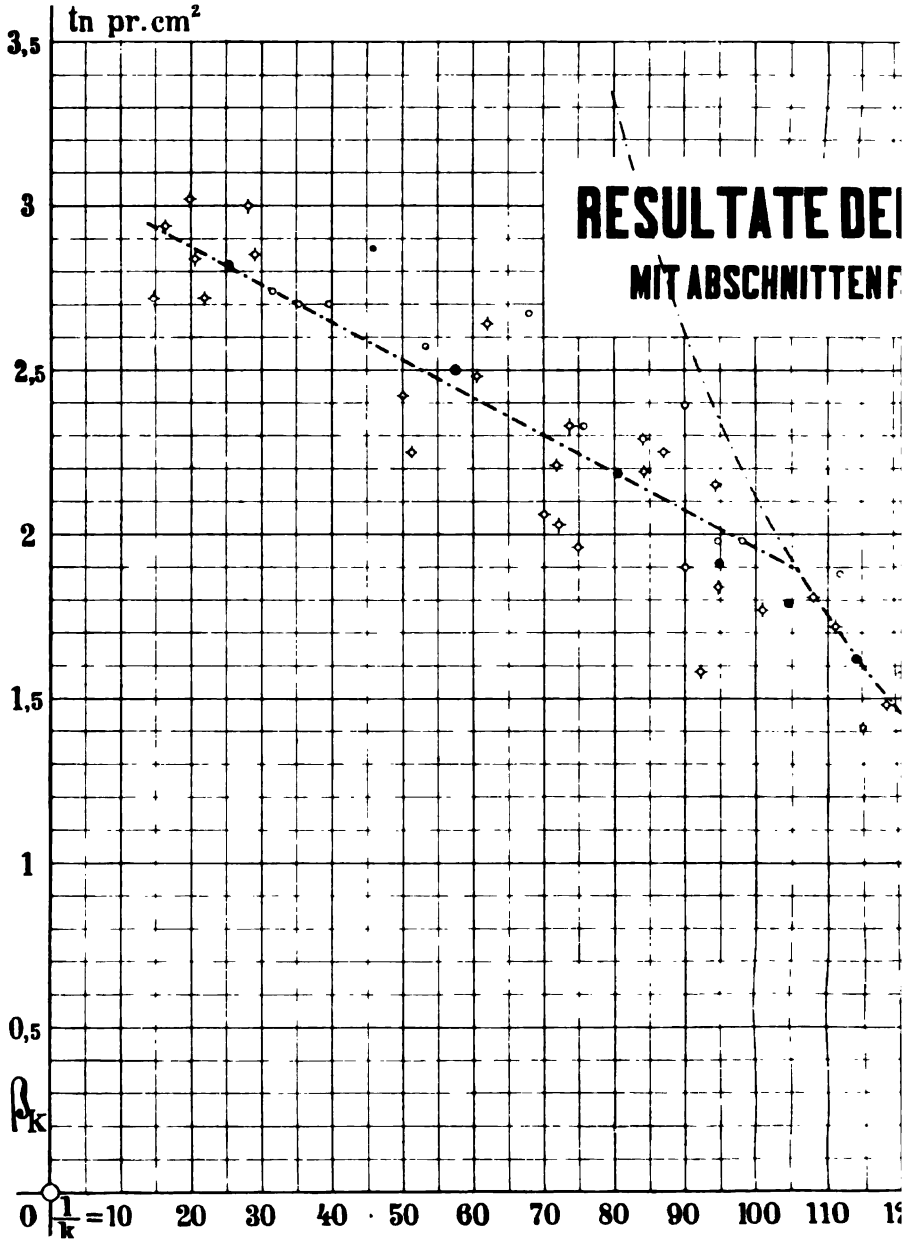
Zinkographie von Brunner & Hauser, Zürich.


ln pr. cm²
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
β_k
0
$\frac{1}{k}$ = 10
20
30
40
50
60
70
RESULTATE DER
MIT GUSSEISERNE

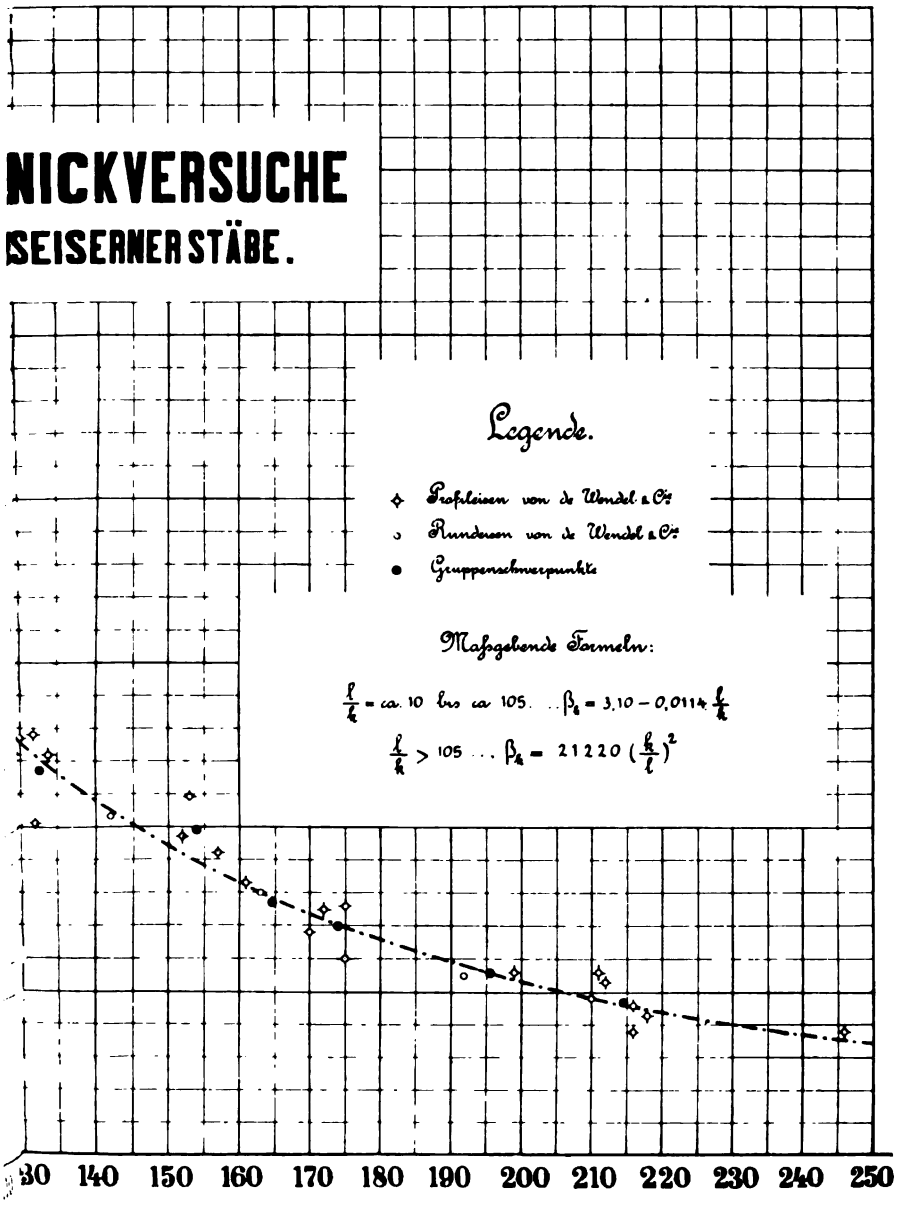
KNICKVERSUCHE
ROHRABSCHNITTEN



POLYGRAPHISCHES INSTITUT ZÜRICH


tn pr.cm²
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
pk
0
1/k=10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
RESULTATE DE
MIT ABSCHNITTEN F

NICKVERSUCHE
EISERNER STÄBE.



POLYGRAPHISCHES INSTITUT ZÜRICH

PROBESTÄBE

zur Untersuchung des Einflusses des exzentrischen Druckes

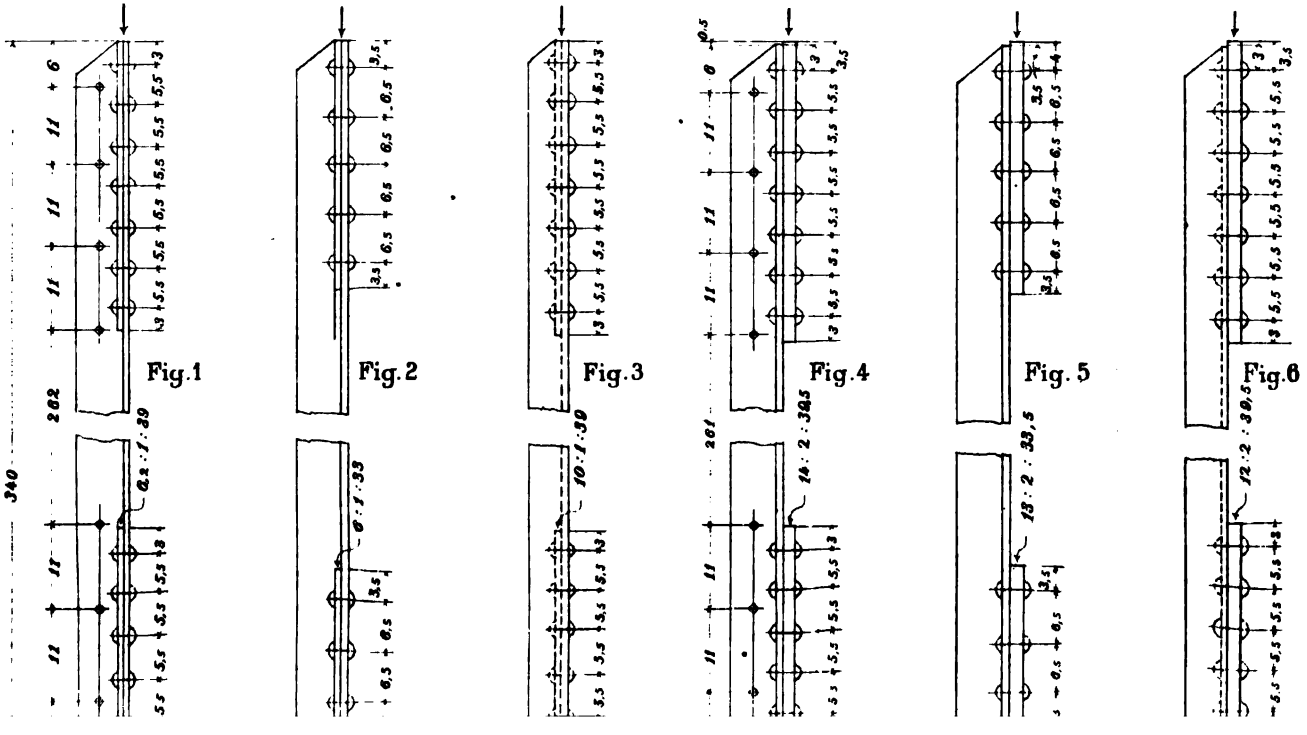
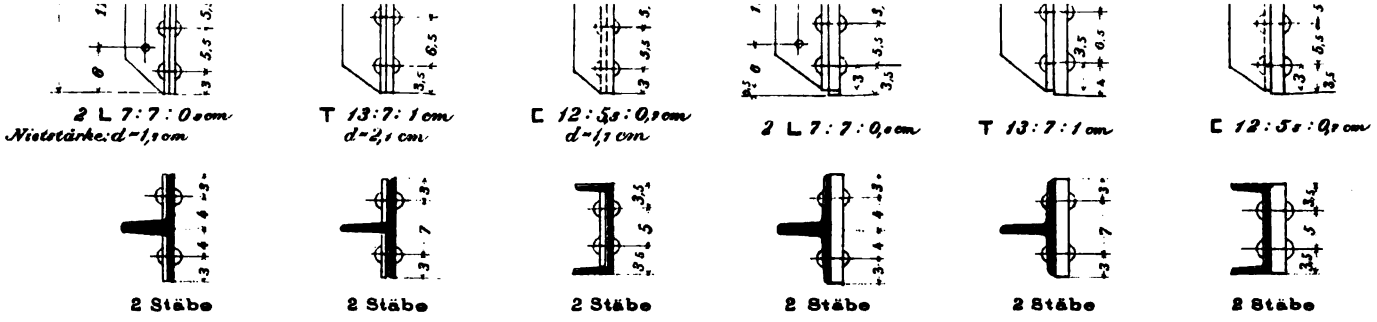
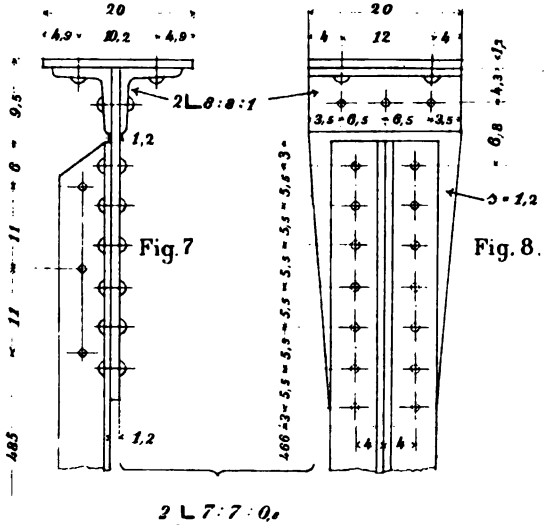
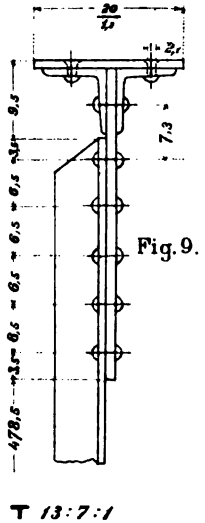
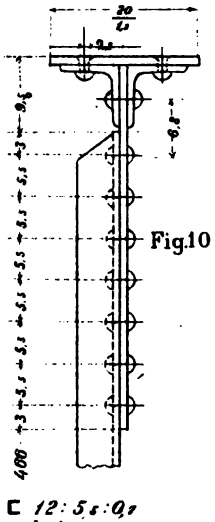


Fig.1 Fig.2 Fig.3 Fig.4 Fig.5 Fig.6









Maßstab = 1:10.

LITH. HOFER & CO., ZÜRICH

Verlag der Materialprüfungs-Anstalt

am

schweizerischen Polytechnikum in Zürich.

1. Heft: **Methoden und Resultate der Prüfung der natürlichen und künstlichen Bausteine;** $7\frac{1}{2}$ Bogen, 11 Textfiguren (vergriffen) . . . . . Mk. 1.50

2. Heft: **Methoden und Resultate der Prüfung der Bauhölzer;**
   1. Auflage: $4\frac{1}{2}$ Bogen, 14 Textfiguren und 1 Tafel » 1.50
   2. » : $6\frac{1}{4}$ » 15 » 1 » » 4.—

3. Heft: **Methoden und Resultate der Prüfung von Eisen und Stahl und anderer Metalle;** 16 Bogen, 38 Textfiguren und 8 Tafeln . . . . . » 5.—

4. Heft: **Methoden und Resultate der Prüfung von Eisen und Stahl und anderer Metalle;**
   deutsche Ausgabe: 19 Bogen, 49 Textfiguren und 16 Tafeln (vergriffen) . . . . » 10.—
   französische » : 19 Bogen, 49 Textfiguren und 16 Tafeln . . . . . » 10.—

5. Heft: **Bericht über den Neubau, die Einrichtungen und Betriebsverhältnisse d. Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum;**
   2. Auflage, 16 Bogen, 74 Textfiguren und 12 Tafeln » 6.—

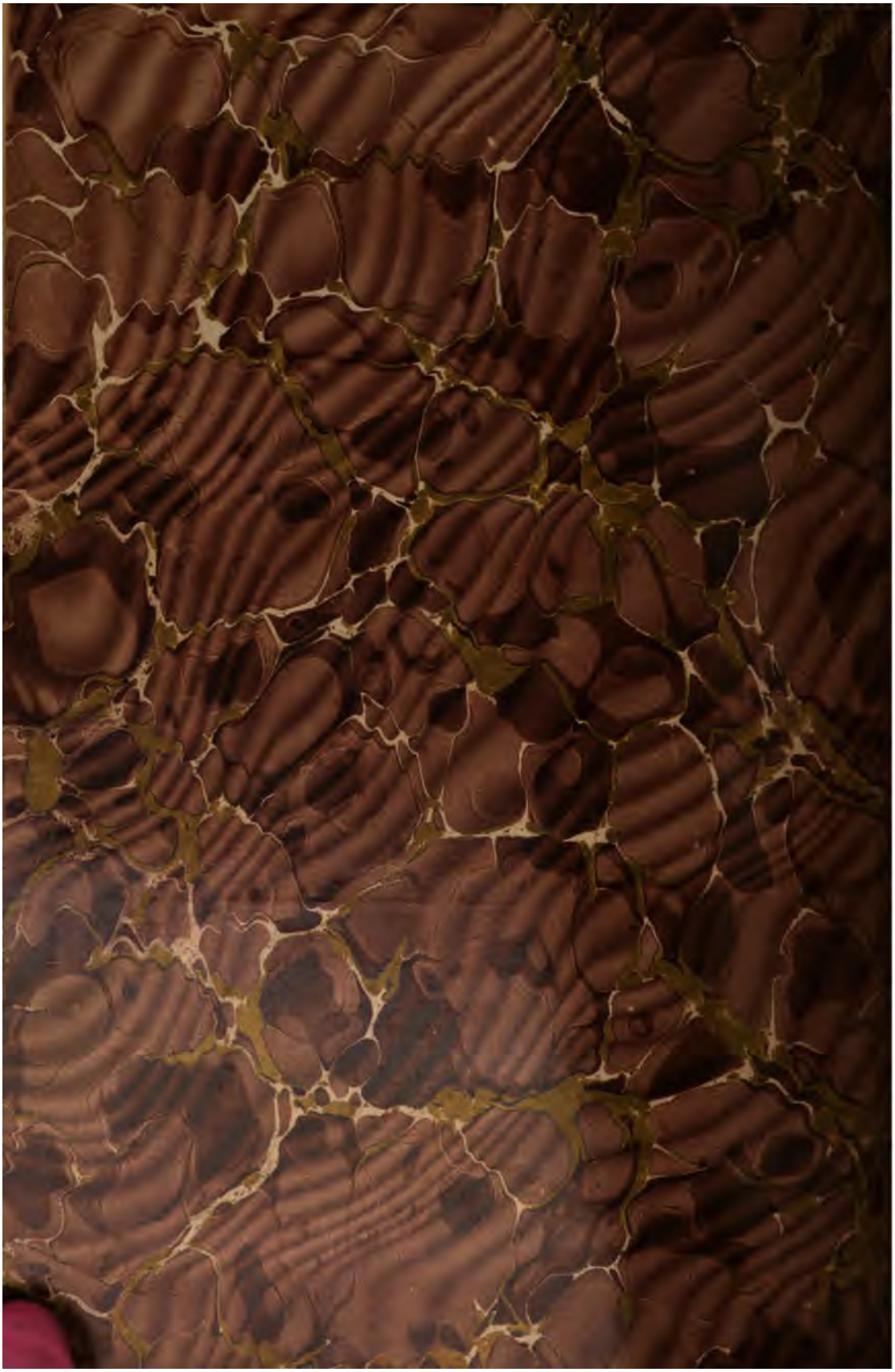
6. Heft: **Methoden und Resultate der Prüfung der hydraul. Bindemittel;** 26 Bogen, 34 Textfiguren und 8 Tafeln » 16.—

7. Heft: **Resultate spezieller Untersuchungen auf dem Gebiete der hydraul. Bindemittel;**
   2. Auflage, $20\frac{1}{4}$ Bogen und 32 Textfiguren und 4 Tab. » 6.—

8. Heft: **Die Gesetze der Knickungsfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe;**
   1. Auflage: 5 Bogen, 11 Textfiguren und 4 Tafeln . » 4.—
   2. » : $13\frac{1}{2}$ Bogen, 20 Textfiguren und 6 Tafeln » 8.—

Kommissionsverlag: **E. Speidel,** Buchhandlung,
Zürich-Oberstrass.

ENGINEERING LIBRARY



TA 427 .M45 1900 C.1
Methoden und Resultate der Pru
Stanford University Libraries
3 6105 030 451 905

DATE DUE

TIMOSHENKO COLLECTION
IN HOUSE USE ONLY

STANFORD UNIVERSITY LIBRARIES
STANFORD, CALIFORNIA 94305-6004